

УДК 631.362.35.+УДК 633.853.+УДК 631.31

№ держреєстрації 0111U002549

**МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА
УКРАЇНИ**
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
72312, м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18,
ТЕЛ. (0619) 42-13-83, 42-21-32

ЗАТВЕРЖДУЮ:

Директор НДІ МЗПУ,

чл.-кор. НААНУ, д.т.н.

«» В.Т. Надикто
2013р.



**ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
ЗА 2012р.**

п.п. 2. Розробка технологій і технічних засобів для рослинництва в умовах зрошеного землеробства півдня України

Завідувач відділу:  чл.-кор. НААНУ, д.т.н. Надикто В.Т.

Завідувач лабораторії  к.т.н. Михайлов С.В.

2013 р.

Результати роботи розглянуті НТР
Протокол № 1 від «24» 04 2013 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Розділи	Виконавці	ПІБ	Підпис
1, 2	Керівник підпрограми к.т.н., доцент	Михайлов Є.В.	
1	к.т.н., доцент	Кольцов М.П.	
3	к.т.н., доцент	Саньков С.М.	
3	к.т.н., доцент	Білокопитов О.В	
3	к.т.н., доцент	Вершков О.О.	
3	к.т.н., доцент	Волік Б.А.	
3	інж.,	Семенюта А.М.	
4	інж.,	Матковський О.І	
1	інж.,	Чижиков О.І.	
1	інж.,	Білокопитов О.О.	
1	інж.,	Задосна Н.О.	
5	інж.,	Чижиков І.О.	
1	інж.,	Шевченко В.І.	
3	Магістрантка	Рудакова Ю.І.	
1	Студент 45ПМ	Огородніков В.С.	
1	Студент 55МГ	Ялпачик М.О.	
4	Студент 44ПМ	Яловий Д.В.	
4	Студент 44ПМ	Криворучко М.М.	

РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 53 сторінки, 11 рисунків, 4 таблиці, 42 посилання.

Об'єкти дослідження – технологічні процеси об'єктів післязбиральної обробки зерна; склад зернового вороху після збирання врожаю зернозбиральними комбайнами; робочий орган плуга – букера для полицевого обробітку ґрунту; коливальний робочий орган викопувального плуга; процес механізованого садіння підщеп плодових культур.

Мета роботи – підвищення ефективності роботи: процесів післязбиральної обробки зерна; технічних засобів для обробітку ґрунту; садіння та викопування підщеп плодових культур.

Методи дослідження – метод ідентифікації, регресійний аналіз, основні положення вищої математики та теоретичної механіки, методика польових досліджень.

У даному звіті пропонуються:

- математичні моделі технологічних процесів об'єктів післязбиральної обробки зерна;
- результати польових досліджень аеродинамічних властивостей складових зернового вороху у господарствах Запорізької області;
- аналіз сил, діючих на робочий орган плуга – букера для полицевого обробітку ґрунту;
- обґрунтування параметрів форми і положення робочого органу викопувального плуга;
- модель оптимізації процесу садіння підщеп плодових культур садильним апаратом дискового типу.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ, АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ, ПЛУГ-БУКЕР, ВИКОПУВАЛЬНИЙ ПЛУГ, САДИЛЬНИЙ АПАРАТ

ЗМІСТ

	Вступ	5
1.	Математичні моделі технологічних процесів об'єктів післязбиральної обробки зерна.....	6
2.	Результати польових досліджень аеродинамічних властивостей складових зернового вороху у господарствах Запорізької області ...	14
3.	Аналіз сил, діючих на робочий орган плуга – букера для полицевого обробітку грунту.....	26
4.	Обґрунтування параметрів форми і положення робочого органу викопувального плуга	32
5.	Модель оптимізації процесу садіння підщеп плодових культур садильним апаратом дискового типу	38
	Висновки	48
	Література	50

ВСТУП

Математичні моделі технологічних процесів об'єктів післязбиральної обробки зерна, аеродинамічні та якісні характеристики вихідних матеріалів значною мірою визначають технологію, типи та продуктивність технологічного обладнання для їх післязбирального обробітку. Це носить доволі актуальний характер, як для проектних організацій, так і для сільгосп підприємств.

При розробці технічних засобів ґрунтообробних машин недостатньо уваги приділяється плугам – букерам для полицевого обробітку ґрунту в системі мостового землеробства.

Не менш актуальними залишаються проблеми розробки та удосконалення засобів механізації для садіння підщепи плодкових культур та викопування їх саджанців.

1. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОБ'ЄКТІВ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА

1.1. Актуальність досліджень

Аналітичний метод побудови математичних моделей ЗОМ зводиться практично до опису їхніх робочих органів і навіть елементів цих органів. При цьому виникає складне завдання через наявність численних внутрішніх і зовнішніх сил, що діють на зерновий матеріал при різних етапах проходження його по робочих органах. Так, не враховується стохастична природа умов функціонування машин, і одержати прогноз показників якості роботи досліджуваних об'єктів в умовах їхнього нормального функціонування є неможливим.

У зв'язку із цим побудова моделей здійснюється методом ідентифікації - ототожненні моделі об'єкту - оригіналу за відомими "вхідними" і "вихідними" даними [1]

1.2. Програма досліджень

Побудувати математичні моделі технологічних процесів об'єктів післязбиральної обробки зерна

1.3. Методика досліджень

Побудова математичної моделі технологічного процесу об'єкта післязбиральної обробки зерна (ПУОЗ) - зерноочисної машини або агрегату методом ідентифікації передбачає наступне. При сталих режимах роботи (з урахуванням культури, її призначення, якості вихідного матеріалу, виконання допусків на показники функціонування зерноочисної машини (ЗОМ), або агрегату), синхронно виходять реалізації вхідних і вихідних змінних. За цими реалізаціями визначаються оцінки оператором А. Близькість оцінки оператора А до його істинного значення визначає відповідність реального об'єкта і моделі.

Кількісною оцінкою може бути дисперсійна міра ідентичності моделі [3]:

$$\xi_D = \frac{D_y^1}{D_y}, \quad (1.1)$$

де D_y - дисперсія вихідної змінної;

D_y^1 - частина дисперсії D_y , яка обумовлена вхідними змінними $P(t)$, $S_u(t)$, $H_u(t)$ або дисперсія прогнозу.

Для ідентифікації статичних моделей використовується регресійний аналіз. Для ідентифікації динамічних моделей використовуються відомі співвідношення в тимчасовій і частотній областях (кореляційні функції, спектральні щільності, амплітудно-частотні характеристики, передаточні функції і т.ін.) [2].

1.4. Результати досліджень

Сукупність названих двох типів моделей дає досить вичерпні характеристики при дослідженні робочих органів з метою їх оптимізації, для прогнозу показників якості роботи машин, для складання технічних завдань на проектування й ін.

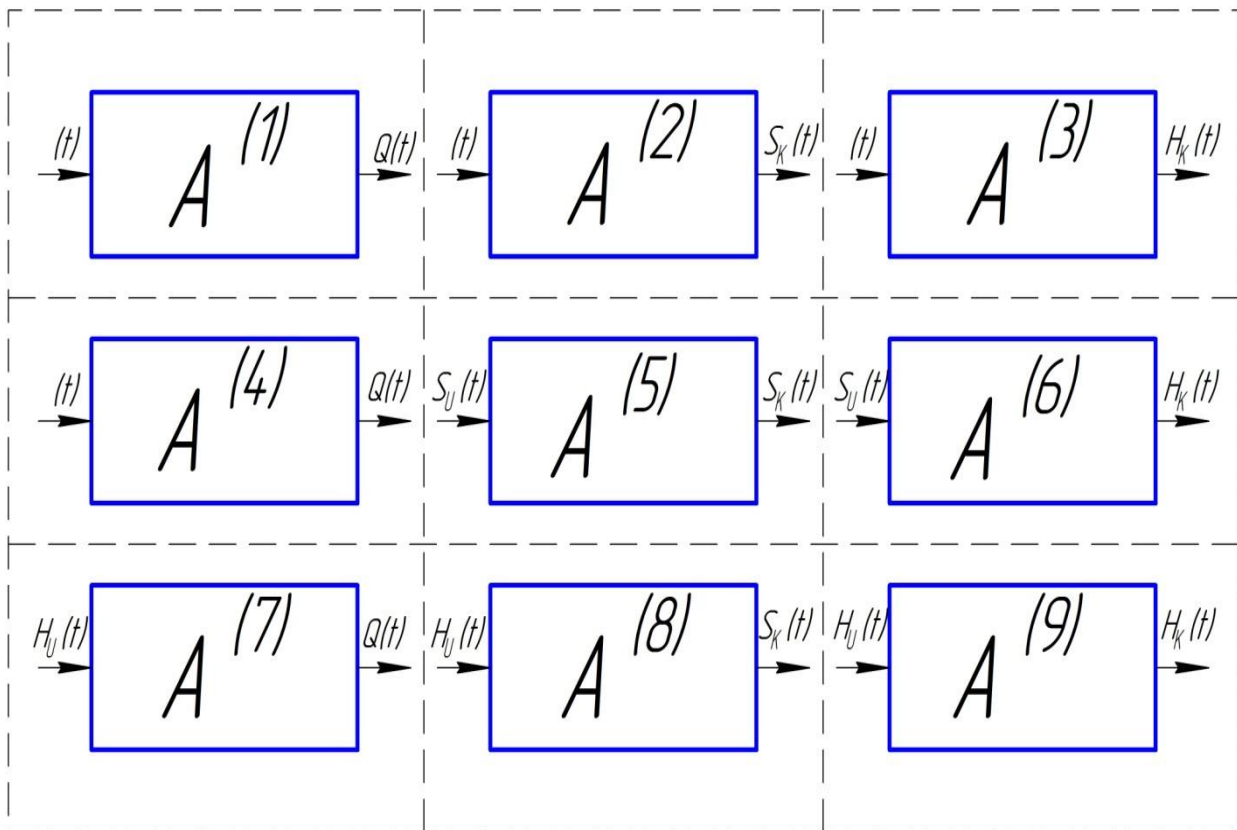


Рисунок 1.1. - Одномірні розрахункові моделі

Представимо багатомірну модель об'єктів у вигляді одномірних моделей (рис. 1.1), використовуючи для цього принцип суперпозиції. Оператор A можна представити при цьому сукупністю приватних операторів для випадку, коли на "вході" і "виході" по три змінних - відповідно: $P(t)$, $S_u(t)$, $H_u(t)$ і $Q(t)$, $S_k(t)$, $H_k(t)$, де $P(t)$ – подача;

$Q(t)$ – продуктивність;

$S_u(t)$, $S_k(t)$ - засміченості вхідна і кінцева;

$H_u(t)$ і $H_k(t)$ - натури вхідна і кінцева.

$$A = \{A^{(1)}, A^{(2)}, A^{(3)}, A^{(4)}, A^{(5)}, A^{(6)}, A^{(7)}, A^{(8)}, A^{(9)}\} \quad (1.2)$$

У випадку, якщо на "вході" $P(t)$ і $S_u(t)$, а на "виході" три - $Q(t)$, $S_k(t)$, $H_k(t)$ (рис. 5.2.), то отримаємо вираз:

$$A_0 = \{A_0^{(1)}, A_0^{(2)}, A_0^{(3)}, A_0^{(4)}, A_0^{(5)}, A_0^{(6)}\} \quad (1.3)$$

Завдання побудови моделі регресії технологічного процесу будь-якої

сільськогосподарської машини зводиться до визначення оцінки умовного математичного очікування $m_{y/f}$ вихідної реалізації $y(t)$ відносно фіксованих рівнів вхідної реалізації $f(t)$ [2].

Умовне математичне очікування $m_{y/f} = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{y(t_1)}{f} \right]$ випадкового процесу $y(t)$ щодо фіксованого значення іншого процесу $F(t) = f$ у фіксований момент часу t_1 визначається виразом:

$$m_{y/f} = \int_{-\infty}^{\infty} (yf(y)f; t_1) dy \quad (1.4)$$

Цей вираз являє собою функцію-регресію - залежність умовного математичного очікування реалізації випадкового вхідного процесу $y(t)$ від значень реалізації випадкового вихідного процесу $f(t)$. Рівняння регресії можуть бути лінійними й нелінійними.

Оскільки для рішення нашого завдання не висувається програма досліджень по обґрунтуванню раціональних або оптимальних значень конструктивних, кінематичних та інших параметрів робочих органів сільськогосподарських машин, а розглядається прогнозове завдання з визначення показників якості роботи об'єкта, то зупинимось на лінійній регресії.

Рівняння лінійної регресії реалізації $y(t)$ стаціонарного випадкового процесу щодо значення f_i реалізації $f(t)$ іншого випадкового процесу має вигляд:

$$m_{y/f} = m_y + \frac{S_y R_{yf}}{S_f} (f - m_f), \quad (1.5)$$

де m_y й m_f - середні значення вхідних і вихідних процесів;

S_y і S_f - середньоквадратичне відхилення;

R_{yf} - значення коефіцієнта кореляції.

Якщо представити $\frac{S_y R_{yf}}{S_f} = b$ і $m_y - b m_f = a$, тоді

$$m_{y/f} = a + b f, \quad (1.6)$$

де a й b - коефіцієнти лінійної регресії.

Значення коефіцієнтів a і b обчислюється відомими методами (наприклад, методом найменших квадратів).

Використовуючи принцип суперпозицій, багатомірну математичну модель об'єкта можна представити як сукупність його одномірних моделей.

Таким чином, регресійну модель технологічного процесу досліджуваного об'єкта із трьома вхідними й вихідними змінними, з урахуванням виразу (1.2), можна представити у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} m_{Q/P} &= a_{PQ} + b_{PQ} P \\ m_{S_k/P} &= a_{PS_k} + b_{PS_k} P \\ m_{H_k/P} &= a_{PH_k} + b_{PH_k} P \\ m_{Q/S_u} &= a_{S_u Q} + b_{S_u Q} S_u \\ m_{S_k/S_u} &= a_{S_u S_k} + b_{S_u S_k} S_u \\ m_{H_k/S_u} &= a_{S_u H_k} + b_{S_u H_k} S_u \\ m_{Q/H_u} &= a_{H_u Q} + b_{H_u Q} H_u \\ m_{S_k/H_u} &= a_{H_u S_k} + b_{H_u S_k} H_u \\ m_{H_k/H_u} &= a_{H_u H_k} + b_{H_u H_k} H_u \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

Для об'єкта із двома вхідними й трьома вихідними змінними регресійну модель, з урахуванням виразу (1.3), можна представити так:

$$\left. \begin{aligned}
 m_{Q/P} &= a_{PQ} + b_{PQ}P \\
 m_{S_k/P} &= a_{PS_k} + b_{PS_k}P \\
 m_{\Pi/P} &= a_{P\Pi} + b_{P\Pi}P \\
 m_{Q/S_u} &= a_{S_uQ} + b_{S_uQ}S_u \\
 m_{S_k/S_u} &= a_{S_uS_k} + b_{S_uS_k}S_u \\
 m_{\Pi/S_k} &= a_{S_k\Pi} + b_{S_k\Pi}S_u
 \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

Отримані математичні моделі застосовувані до об'єктів, дослідженими нами в умовах нормального функціонування при випробуваннях їх у південному регіоні України. Це повнокомплексна насіннеочисна лінія; зерноочисний агрегат ЗАВ-40 (одна лінія з додатково встановленою машиною ЗВС-20); машина первинного очищення ЗВС-20; ворохоочисник скальператорного типу; лінія для обробки вороху на стаціонарі.

При використанні виразів (1.7, 1.8) для математичного опису технологічних процесів об'єктів ПУОЗ недостатньо мати тільки сукупність рівнянь регресії. Необхідно знати наскільки достовірним буде прогноз показників якості по кожному з рівнянь і при цьому виникає завдання визначення ступеню ідентичності одномірних моделей. Вона визначається зі співвідношення [2]:

$$\xi_D = \frac{D\left\{m_{y/f}\right\}}{D_y} \quad (1.9)$$

де $D\left\{m_{y/f}\right\}$ - дисперсія умовного математичного очікування (функції регресії

щодо фіксованих рівнів вхідного вектора;

D_y - дисперсія вихідного процесу.

Вираз (4.23) визначає частку повної регресії вихідного процесу, обумовленого впливом вектора \vec{F} вхідних впливів моделі й може бути названий дисперсією прогнозу D_{np} .

Повна дисперсія D_y вихідної випадкової величини складається із двох складових: дисперсії прогнозу $D_{\text{пр}}$ і залишкової дисперсії $D_{\text{ост}}$

$$D_y = D_{\text{пр}} + D_{\text{ост}}, \quad (1.10)$$

Залишкова дисперсія $D_{\text{ост}} = M \left[D_{y/f} \right]$ – частину загальної дисперсії вихідного процесу, що обумовлено вхідними впливами, які не враховуються. Тоді

$$\xi_D = \frac{D_{\text{пр}}}{D_y} = 1 - \left(\frac{D_{\text{ост}}}{D_y} \right) = 1 - \xi, \quad (1.11)$$

де ξ – погрішність моделі або ступінь ідентичності моделі реальному об'єкту.

Зі співвідношень (1.9) і (1.10) видно, що ступінь ідентичності ξ_D моделі чисельно дорівнює значенню коефіцієнта кореляції R_{yf} .

Для лінійних моделей приймається наступне співвідношення:

$$\xi_D = R_{yf}^2, \quad (1.12)$$

де R_{yf} – коефіцієнт кореляції між вхідним збурюванням f і вихідним показником y .

Відповідно до рекомендацій [2] ступінь ідентичності моделей повинна бути не менш 0,65...0,70, що можливо для одномірних моделей, у яких найчастіше ступінь статистичного зв'язку між вхідними і вихідними змінними досить висока (коефіцієнт кореляції не нижче 0,75...0,80). Ступінь ідентичності моделей, у яких коефіцієнт кореляції становить $R_{yf} = 0,5...0,6$, невисока. Такі моделі можуть характеризувати технологічні процеси приблизно.

При побудові математичних моделей технологічних процесів з декількома вхідними змінними (наприклад, трьома) і однією вихідною рівняння регресії має вигляд:

$$m_{y/f} = a_0 + a_1 f_1 + a_2 f_2 + a_3 f_3 \quad (1.13)$$

Або, з урахуванням прийнятих умовних позначок і у вигляді, зручному для введення в машинний імітаційний експеримент, одержимо систему рівнянь відповідно для: повнокомплектної насіннєочисної лінії; зерноочисного агрегату

ЗАВ-40 (одна лінія з додатково встановленою машиною ЗВС-20); машини первинного очищення ЗВС-20; ворохоочисника скальператорного типу; лінії для обробки вороху на стаціонарі:

$$Q_1 = a_0^1 + a_1^1 P_1 + a_2^1 S_{u1} + a_3^1 H_{u1} \quad (1.14)$$

$$Q_2 = a_0^2 + a_1^2 P_2 + a_2^2 S_{u2} + a_3^2 H_{u2} \quad (1.15)$$

$$Q_3 = a_0^3 + a_1^3 P_3 + a_2^3 S_{u3} + a_3^3 H_{u3} \quad (1.16)$$

$$Q_4 = a_0^4 + a_1^4 P_4 + a_2^4 S_{u4} \quad (1.17)$$

$$Q_5 = a_0^5 + a_1^5 P_5 + a_2^5 S_{u5} + a_3^5 H_{u5} \quad (1.18)$$

де, для зерноочисних машин і агрегатів:

- Q_1, Q_2, \dots, Q_5 - продуктивність;
- P_1, P_2, \dots, P_5 - подача вихідного матеріалу;
- $S_{u1}, S_{u2}, \dots, S_{u5}$ - вихідна засміченість зерна;
- $H_{u1}, H_{u2}, H_{u3}, H_{u5}$ - вихідна натура зерна.

Точність математичної моделі пропонується характеризувати середньоквадратичним відхиленням S_r величини, що розраховується, вихідного фактора від експериментального значення за формулою:

$$S_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^r - Y_i^e)^2 \quad (1.19)$$

де Y_i^r - розраховане й Y_i^e - експериментальне значення вихідного фактору Y для i -того виміру.

Співвідношення обчисленого середньоквадратичного відхилення S_r та експериментального значення S , характеризує адекватність моделі. Нажаль, коректне вирішення питання про адекватність у випадку пасивного (тобто не планованого експерименту) є неможливим. При $S_r/S < 0,5$ з високим ступенем вірогідності можна говорити про адекватність моделі. При співвідношенні S_r/S рівному або більше 1, модель неадекватна. Найбільш цікавий проміжний випадок при пасивному експерименті залишається невизначеним.

Математичні моделі, представлені у виразах 1.14...1.18, представляють собою залежність вихідного параметра від вхідних факторів при заданих останніх у природному виді. У цьому випадку всі вихідні параметри беруться в тих

розмірностях, які використовувалися при вимірах.

Для визначення значимості кожного вхідного фактору в значення функції відгуку доцільно представляти рівняння регресії в нормованому виді, що дозволяє за значеннями коефіцієнтів регресії b_i визначати значимість кожного з них.

1.5. Висновок:

На підставі використання методів ідентифікації і регресійного аналізу побудовані математичні моделі для : повнокомплектної насіннеочисної лінії; зерноочисного агрегату ЗАВ-40 (одна лінія з додатково встановленою машиною ЗВС-20); машини первинного очищення ЗВС-20; ворохоочисника скальператорного типу; лінії для обробки вороху на стаціонарі.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СКЛАДОВИХ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ У ГОСПОДАРСТВАХ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ

2.1. Актуальність дослідження.

Аналіз конструкції машини попереднього очищення зерна, яка має живлячу і сепаруючу складові повітророзподілюючого каналу [4, 5] свідчить, що важливішим показником її роботи є швидкість руху повітряного потоку пов'язана з використанням способів очищення та сортування зернового вороху. Незважаючи на широке використання явища руху матеріальних частинок у сучасних зерноочисних машинах, пов'язаних із сепарацією складових зернового вороху, кількісні закономірності руху тіл із урахуванням опору повітряного середовища і сьогодні потребують досліджень. Особливу увагу у виробництві зернових приділяється післязбиральному обробітку. Зерновий ворох, що надходить на післязбиральний обробіток, представляє собою суміш зерна основної культури, насіння інших культур, бур'янів, мінеральних (грудочки землі), органічних домішок (полова, збоїна соломи, частки рослин) і біологічних (комахи, шкідники) [6, 7]. Залежить це від умов вирощування, культури землеробства, використання технічних засобів у технологічному процесі збирання і післязбирального обробітку зерна, і тому ця проблема є актуальною.

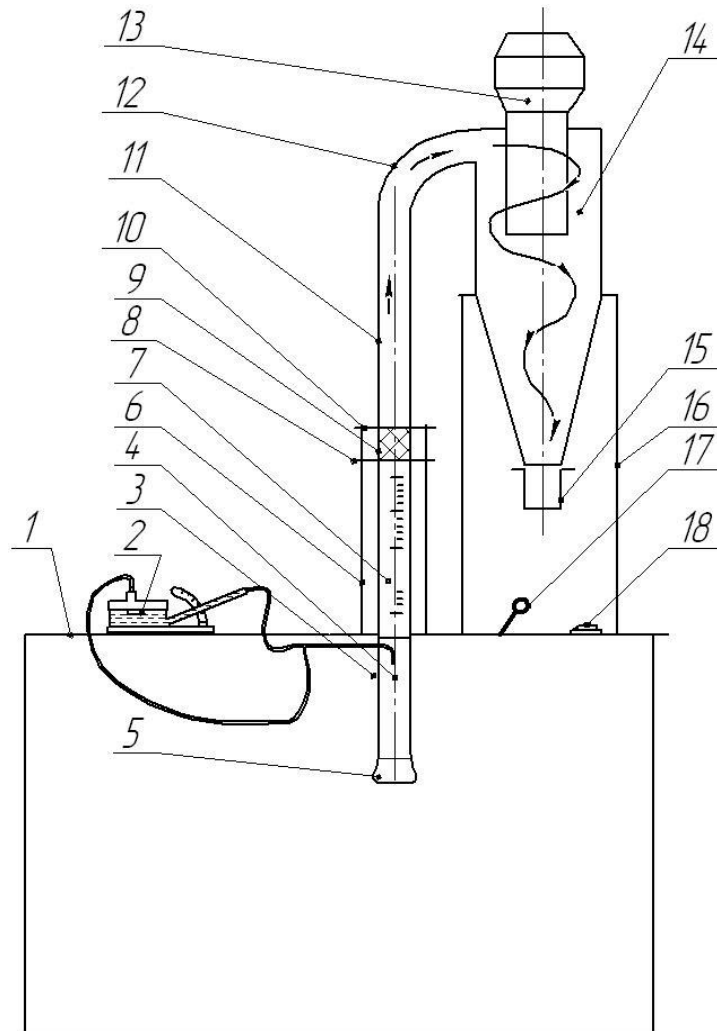
2.2. Програма досліджень

Визначення значень критичної швидкості та коефіцієнту парусності складових зернового вороху пшениці, що надходить на зерноочисні комплекси господарств Запорізької області.

2.3. Методика досліджень

Швидкість вітання тіла можна визначити на ротаметричному порціонно-парусному класифікаторі РПК-30 [9]. На наш погляд, більш точнішими виміри

швидкості вітання “тіла,, можливо отримати за рахунок обладнання РПК-30 подовжувачем ротаметра з дифузorzом та мікроманометром ММН-240 з трубкою Піто-Прандтля, та іншими типами реєструючих пристроїв. При цьому існуючі змінні поплавки ротаметра на використовуюються.



1 - стіл; 2 - мікроманометр ММН-240; 3 - трубка Піто-Прандтля; 4 - подовжена трубка ротаметра; 5 – дифузorz; 6 - стояк; 7 - трубка ротаметра; 8 - фланець стояка рухомий; 9 – касета; 10 - фланець нерухомий; 11 - канал пневмосепаруючий; 12 - коліно; 13 - електродвигун вентилятора; 14 - циклон; 15- стакан; 16 - опора; 17 - важіль; 18- ЛАТР.

Рисунок 2.1 – Схема технологічного процесу модернізованого ротаметричного порціонно-парусного класифікатора РПК-30

На столі 1, (рис. 2.1) на стояку 6 змонтовано подовжену трубку ротаметра 4 яка в свою чергу з’єднана з ротаметричною трубкою 7 ротаметра, а через рухомий фланець 8 стояка 6, касету 9 і нерухомий фланець 10 - з пневматичним

сепаруючим каналом 11. В подовжену трубку ротаметра 4 на відстані шести еквівалентних діаметрів від низу дифузора 5 введено трубку Піто-Прандтля 3, що з'єднана з мікроманометром ММН-240. По стояку 6 ковзає фланець 8 подовженої трубки ротаметра 4. До нижньої частини подовженої трубки ротаметра 4 приєднано вхідний дифузор 5. Подовжена трубка ротаметра з дифузором, за допомогою важеля 17 вмонтованого в стіл 1, може переміщуватися вертикально вгору і притискати установлену у спеціальне гніздо верхнього фланця 10 касету 9 до нижнього торця фланця 10 пневмосепаруючого каналу 11. На опорі 16 змонтовано циклон 14 в верхній частині якого встановлено електродвигун 13 з вентилятором, а сам циклон через коліно 12 з'єднаний з пневмосепаруючим каналом 11. На вихідній трубці циклона нижній його частині корпуса встановлено приймальний стакан 15. Для встановлення подовженої трубки ротаметра і пневмосепаруючого каналу у вертикальне положення на ніжках стола 1 є регулювальні опори. Поплавок ротаметра для проведення експерименту не встановлюється, а регулювання швидкості повітряного потоку забезпечується шляхом зміни частоти обертання вала вентилятора за допомогою ЛАТРа 18.

Робота класифікатора полягає в наступному [10].

“Тіло,, (зерно, домішок), розміщується на рідкій сітці касети 9 у аеродинамічній трубці і під дією вентилятора 13 створюється повітряний потік по замкненому контуру повітроводу. Змінюючи швидкість повітря, підбирають його так, щоб тіло “зависало” в повітрі, не падаючи до низу і не улитаючи вгору.

Швидкість повітряного потоку визначаємо за допомогою мікроманометра ММН-240 і трубки Піто-Прандтля

Методика лабораторних досліджень включає наступні етапи:

- встановити РПК-30 по рівню;
- поворотом важеля затискаючого устрою звільнити і висунути касету, в яку висипати навіску насіння (домішок) масою 20...30 гр. Встановити касету з насінням у гніздо ротаметра і затиснути її між ним і пневматичним каналом;
- підключити прибор до електродвигуна, включити електродвигун;
- змінюючи ЛАТРОм частоту обертання вентилятора, регулюють швидкість

повітряного потоку, що відповідає підйому перших зерен (домішок) до виносу останніх зерен (домішок), і фіксуємо показання шкали мікроманометра у діапазоні дослідження;

- визначаємо значення:
 - максимального і мінімального динамічного тиску;
 - мінімальну і максимальну швидкість вітання;
 - мінімальну і максимальну величину коефіцієнта парусності;
 - швидкості транспортування зерна і складових зернового вороху.

Результати досліджень розміщуємо у відомості [10].

Для проведення експериментальних досліджень використовуються наступні прилади і обладнання:

- ротаметричний порціонно-парусний класифікатор РПК-30;
- мікроманометр ММН-240; дифманометр МР 200; дифманометр цифровий ДТ 8920;
- трубка Піто-Прандтля;
- подовжена трубка ротаметра з дифузором;
- відомість результатів експериментальних досліджень.

2.4. Результати досліджень

Як відомо, на первинному етапі очистки зернового матеріалу, найбільш частіше розділення складових зернового вороху відбувається по аеродинамічним властивостям. У відповідності до методики досліджень головною метою було поставлено визначити мінімальну і максимальну критичну швидкість та коефіцієнт парусності для повноцінного зерна пшениці та їх домішок: подрібненого зерна, полови, змолоченого і невимолоченого колоса, насіння бур'янів, тощо [11, 12].

Результати досліджень визначення критичної швидкості представлено таблицею 1, а коефіцієнту парусності - таблицею 2.

Аналіз результатів критичної швидкості повноцінного зерна показують, що найбільше його значення у ПП «Росія» і склала $V_{кр(мін)}=8,98\text{м/с}$, $V_{кр(мак)}=$

11,80м/с. У ТОВ «40 років Жовтня», ПП «Лана», та ТОВ «Райз-Максимко» відпо-

Таблиця 1 - Відомість результатів визначення критичної швидкості витання ($V_{кр}$) зернового вороху у господарствах Запорізької області

№ п.п	Зерно повноцінне		Зернова домпшка				Крупна домпшка		Насіння бур'янів		Легка домпшка		Живе сміття					
	Критична швидкість, м/с		Щупле зерно		Подрібнене зерно		Пошкоджене зерно		Колос (зволочений і недожолочений), солома		Критична швидкість, м/с		Критична швидкість, м/с		Збоїна соломи			
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
в ТОВ «40 років Жовтня» Куйбишевського району Запорізької області																		
$V_{кр}(ср)$	9,01	11,15	5,06	7,04	5,56	7,75	3,29	7,87	4,65	8,93	1,68	4,26	1,59	2,75	1,19	1,84	-	-
$V_{кр}(min)$	8,42	10,65	4,78	6,75	5,09	6,15	3,05	7,35	2,92	6,91	1,30	3,47	1,25	2,17	0,70	1,15	-	-
$V_{кр}(max)$	9,77	11,74	5,48	7,35	5,85	6,75	3,51	8,68	7,50	12,06	2,05	4,91	2,07	3,51	2,03	2,35	-	-
$\sigma, \%$	0,50	0,43	0,21	0,22	0,23	1,37	0,15	0,54	1,70	2,02	0,35	0,49	0,36	0,45	0,52	0,49	-	-
$v, \%$	5,55	3,84	4,22	3,16	4,23	17,63	4,67	6,87	36,69	22,62	21,24	11,45	22,51	16,38	43,95	27,10	-	-
в приватному підприємстві «Росія» Бердянського району Запорізької області																		
$V_{кр}(ср)$	8,98	11,80	5,22	7,19	5,73	8,74	3,51	8,11	4,54	11,73	1,74	3,63	1,54	3,13	1,33	2,80	-	-
$V_{кр}(min)$	8,45	11,35	4,90	6,71	5,34	7,41	3,18	7,68	1,83	9,67	1,22	3,21	1,24	2,78	1,26	2,14	-	-
$V_{кр}(max)$	9,43	12,22	5,57	7,63	5,98	9,67	3,80	8,77	6,61	13,78	2,31	4,15	1,87	3,91	1,43	3,92	-	-
$\sigma, \%$	0,29	0,33	0,24	0,28	0,18	1,14	0,27	0,35	1,71	1,31	0,51	0,34	0,19	0,29	0,06	0,36	-	-
$v, \%$	3,25	2,79	4,57	3,95	3,19	13,02	7,79	4,37	37,62	11,2	29,36	9,55	12,68	9,10	4,70	12,82	-	-
в приватному підприємстві «ЛІАНА» Михайлівського району Запорізької області																		
$V_{кр}(ср)$	8,60	11,05	5,04	7,11	5,42	9,28	3,52	7,90	6,12	10,34	1,62	3,88	1,78	3,42	1,49	4,20	1,88	3,77
$V_{кр}(min)$	7,83	10,06	4,78	6,70	5,02	6,74	3,22	7,31	4,45	7,45	1,25	3,49	1,48	3,12	1,22	3,68	1,28	2,57
$V_{кр}(max)$	10,49	11,73	5,27	7,32	5,98	9,71	3,83	8,48	7,09	13,09	2,10	4,65	2,04	4,56	1,97	4,70	2,81	4,73
$\sigma, \%$	0,74	0,62	0,19	0,21	0,35	0,49	0,18	0,46	0,99	2,29	0,33	0,46	0,18	0,33	0,24	0,38	0,43	0,61
$v, \%$	8,57	5,61	3,13	3,05	6,54	5,29	5,22	5,81	16,20	22,21	20,66	11,80	10,47	9,60	16,11	9,07	23,1	16,28
в ТОВ Агрофірма «Райз-Максимко» Токмацького району Запорізької області																		
$V_{кр}(ср)$	7,22	11,21	5,02	6,99	5,33	8,54	3,49	8,12	6,31	10,41	1,79	3,92	1,64	2,61	1,87	3,12	-	-
$V_{кр}(min)$	7,06	11,02	4,71	6,78	5,06	6,48	3,13	7,34	5,63	7,33	1,31	3,18	1,34	1,98	1,45	2,97	-	-
$V_{кр}(max)$	7,35	11,68	5,25	7,26	5,78	9,68	3,92	8,56	7,06	12,47	2,33	4,90	2,02	3,17	2,13	3,46	-	-
$\sigma, \%$	0,10	0,21	0,15	0,18	0,26	1,37	0,35	0,37	0,40	1,81	0,37	0,64	0,22	0,48	0,22	0,16	-	-
$v, \%$	1,39	1,88	3,06	2,69	4,87	16,03	10,16	4,61	6,30	17,37	20,98	16,39	13,32	18,64	12,07	5,21	-	-
Сумарне по чотирьох господарствах Запорізької області																		
$V_{кр}(ср)$	8,44	11,3	5,08	7,09	5,50	8,49	3,44	8,00	5,46	10,33	1,72	3,89	1,63	3,03	1,47	3,05	0,67	0,63
$V_{кр}(min)$	7,06	10,06	4,71	6,78	5,02	6,15	3,05	7,31	1,83	6,91	1,22	3,18	1,24	1,98	0,70	1,15	1,28	2,57
$V_{кр}(max)$	10,49	12,22	5,57	7,63	5,98	9,71	3,92	8,77	7,50	13,78	2,33	4,91	2,07	3,91	2,13	4,70	2,81	4,73
$\sigma, \%$	0,85	0,48	0,19	0,22	0,28	1,23	0,25	0,42	1,46	2,12	0,38	0,52	0,25	0,54	0,39	0,91	3,49	2,81
$v, \%$	10,15	4,31	3,83	3,18	5,19	14,55	7,43	5,26	26,78	20,56	22,55	13,42	15,15	17,95	26,49	29,76	519,69	440,42

Таблиця 2 Відомість результатів визначення коефіцієнту парусності (Кп) зернового вороху у господарствах

№ п.п	Зерно повноцінне			Зернова домпшка				Крупна домпшка			Насіння бур'янів			Легка домпшка			Живе сміття			
	Щупле зерно			Подріблене зерно		Пошкоджене зерно		Колос (зміочений і недоочолючений), солома			Коефіцієнт парусності			Коефіцієнт парусності			Збоїна соломи			
	MAX	MIN	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1																				
в ТОВ «40 років Жовтня» Куйбишевського району Запорізької області																				
$K_{п(ср)}$	0,121	0,078	0,383	0,198	0,318	0,176	0,908	0,159	0,632	0,141	4,496	0,562	4,367	1,385	10,625	3,641				
$K_{п(мін)}$	0,103	0,071	0,326	0,180	0,286	0,109	0,796	0,130	0,209	0,067	2,334	0,406	2,289	0,796	2,502	1,776				
$K_{п(макс)}$	0,138	0,084	0,429	0,215	0,346	0,259	1,054	0,189	1,166	0,205	5,895	0,814	6,278	2,083	20,02	7,417				
$\sigma, \%$	0,013	0,006	0,031	0,012	0,028	0,061	0,084	0,021	0,40	0,064	1,51	0,146	1,633	0,424	7,081	2,21				
$v, \%$	11,00	7,77	8,29	6,41	8,94	34,65	9,31	13,36	64,18	45,47	33,71	26,14	37,44	30,65	66,65	60,89				
в приватному підприємстві «Росія» Бердянського району Запорізької області																				
$K_{п(ср)}$	0,121	0,070	0,361	0,19	0,299	0,135	0,827	0,149	0,836	0,073	4,032	0,762	4,28	0,984	5,52	1,315				
$K_{п(мін)}$	0,110	0,065	0,316	0,168	0,274	0,104	0,628	0,127	0,224	0,051	1,806	0,569	2,805	0,641	4,797	0,638				
$K_{п(макс)}$	0,137	0,076	0,408	0,217	0,344	0,239	0,970	0,166	2,929	0,104	6,278	0,952	6,380	1,269	6,179	2,142				
$\sigma, \%$	0,008	0,004	0,033	0,015	0,02	0,045	0,126	0,125	0,902	0,0172	2,098	0,138	1,096	0,144	0,512	0,386				
$v, \%$	6,58	5,77	9,10	8,00	6,63	33,63	15,29	8,38	107,87	23,49	52,03	18,17	25,56	14,72	9,28	29,35				
в приватному підприємстві «ЛАНД» Михайлівського району Запорізької області																				
$K_{п(ср)}$	0,134	0,081	0,38	0,193	0,336	0,114	0,795	0,158	0,286	0,105	4,164	0,672	3,173	0,857	4,696	0,568	3,145			
$K_{п(мін)}$	0,089	0,096	0,308	0,183	0,274	0,104	0,712	0,136	0,195	0,057	2,224	0,453	2,357	0,471	2,527	0,444	1,242			
$K_{п(макс)}$	0,160	0,071	0,429	0,218	0,389	0,215	0,946	0,169	0,495	0,176	6,278	0,848	4,478	1,007	6,590	0,724	5,987			
$\sigma, \%$	0,018	0,008	0,035	0,012	0,042	0,012	0,083	0,018	0,12	0,048	1,599	0,151	0,708	0,146	1,316	0,1	1,385			
$v, \%$	13,68	10,69	9,36	6,30	12,58	11,14	10,43	11,61	41,90	46,28	38,40	22,52	22,33	17,04	28,03	17,67	44,04			
в ТОВ «Агрофірма «Райз-Максимко» Токмацького району Запорізької області																				
$K_{п(ср)}$	0,188	0,077	0,388	0,2	0,346	0,145	0,824	0,149	0,247	0,099	3,505	0,682	3,822	1,584	2,935	0,939				
$K_{п(мін)}$	0,181	0,071	0,355	0,186	0,293	0,099	0,619	0,133	0,196	0,066	1,806	0,406	2,404	0,976	2,162	0,681				
$K_{п(макс)}$	0,196	0,080	0,442	0,213	0,383	0,261	1,001	0,182	0,309	0,182	5,804	0,946	5,463	2,502	4,665	1,112				
$\sigma, \%$	0,05	0,002	0,024	0,01	0,032	0,059	0,163	0,015	0,031	0,041	1,659	0,212	0,978	0,632	0,799	0,137				
$v, \%$	2,83	3,71	6,39	5,35	9,47	40,62	19,89	9,95	12,43	41,56	47,33	31,14	25,59	39,94	27,22	14,63				
Сумарне по чотирьох господарствам Запорізької області																				
$K_{п(ср)}$	0,142	0,076	0,378	0,195	0,325	0,146	0,844	0,154	0,482	0,105	3,974	0,681	3,93	1,182	5,876	1,551	1,350			
$K_{п(мін)}$	0,089	0,065	0,308	0,168	0,274	0,099	0,619	0,127	0,195	0,051	1,806	0,406	2,289	0,471	2,162	0,444	1,242			
$K_{п(макс)}$	0,196	0,084	0,442	0,218	0,389	0,261	1,054	0,189	2,929	0,205	6,278	0,952	6,380	2,502	20,02	7,417	5,987			
$\sigma, \%$	0,03	0,006	0,03	0,012	0,034	0,051	0,12	0,016	0,519	0,05	1,677	0,173	1,162	0,476	4,381	1,577	7,085			
$v, \%$	21,49	8,81	8,134	6,41	10,55	35,28	14,19	10,71	107,69	47,93	42,20	25,47	29,58	40,32	74,55	101,65	524,81			

відно: $V_{кр(min)} = 9,01\text{м/с}$, $V_{кр(max)} = 11,15\text{ м/с}$; $V_{кр(min)} = 8,60\text{м/с}$, $V_{кр(max)} = 11,05\text{м/с}$ та $V = 7,22\text{м/с}$, $V_{кр(max)} = 11,21\text{ м/с}$. При цьому різниця між мінімальним і максимальними значеннями критичної швидкості складають 3...4 м/с, при відносно низькому значення коефіцієнту варіації. Найвище його значення $v = 8,57\%$ при мінімальному значенні критичної швидкості у ПП «Лана», і обумовлено негативною дією шкідників.

Стосовно зернових домішок, то ми бачимо, що в усіх чотирьох господарствах по щуплому, подрібненому і пошкодженому зерну, значення критичної швидкості знаходяться приблизно на одному рівні.

Так, по щуплому зерну середнє мінімальне значення критичної швидкості за математичним очікуванням склало $\bar{V}_{кр(ср)} = 5,08\text{м/с}$ при мінімальному і максимальному значеннях критичної швидкості відповідно $\bar{V}_{кр(min)} = 4,71\text{м/с}$, $V_{кр(max)} = 5,57\text{м/с}$ та середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 0,10\%$ і коефіцієнту варіації $v = 3,83\%$, а середнє максимальне значення критичної швидкості за математичним очікуванням склало $\bar{V}_{кр(ср)} = 7,09\text{м/с}$ при мінімальному і максимальному значеннях критичної швидкості відповідно $\bar{V}_{кр(min)} = 6,78\text{м/с}$, $\bar{V}_{кр(max)} = 7,63\text{м/с}$ та середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 0,22\%$ і коефіцієнту варіації $v = 3,18\%$.

По подрібненому зерну середнє мінімальне значення критичної швидкості за математичним очікуванням склало $\bar{V}_{кр(ср)} = 5,50\text{м/с}$ при мінімальному і максимальному значеннях критичної швидкості відповідно $V_{кр(min)} = 5,02\text{м/с}$, $V_{кр(max)} = 5,98\text{м/с}$ та середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 0,28\%$ і коефіцієнту варіації $v = 5,19\%$, а середнє максимальне значення критичної швидкості за математичним очікуванням склало $\bar{V}_{кр(ср)} = 8,49\text{м/с}$ при мінімальному і максимальному значеннях критичної швидкості відповідно $\bar{V}_{кр(min)} = 6,15\text{м/с}$, $\bar{V}_{кр(max)} = 9,71\text{м/с}$ та середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 1,23\%$ і коефіцієнту варіації $v = 14,55\%$.

Значення коефіцієнту варіації по подрібненому зерну обумовлено його

ймовірнісною природою. При цьому існує суттєва різниця між окремими господарствами. Так, максимальне значення коефіцієнту варіації $v = 17,63\%$ зафіксовано у ТОВ «40 років Жовтня», а мінімальне $v = 5,81\%$ у ПП «ЛАНА».

По пошкодженому зерну середнє мінімальне значення критичної швидкості за математичним очікуванням склало $\bar{V}_{кр(ср)} = 3,44\text{м/с}$ при мінімальному і максимальному значеннях критичної швидкості відповідно $V_{кр(min)} = 3,05\text{м/с}$, $V_{кр(max)} = 3,92\text{м/с}$ та середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 0,25\%$ і коефіцієнті варіації $v = 7,43\%$, а середнє максимальне значення критичної швидкості за математичним очікуванням склало $\bar{V}_{кр(ср)} = 8,0\text{м/с}$ при мінімальному і максимальному значеннях критичної швидкості відповідно $V_{кр(min)} = 7,31\text{м/с}$, $V_{кр(max)} = 8,77\text{м/с}$ та середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 0,42\%$ і коефіцієнті варіації $v = 5,26\%$.

Аналіз складових зернового вороху по зерновим домішкам, показують, що в усіх чотирьох господарствах по щуплому, подрібненому і пошкодженому зерну критична швидкість, значний її відсоток, входить в межі критичної швидкості повноцінного зерна. Тобто, це підтверджує той висновок, який стверджувався багатьма дослідниками [3, 4, 15, 16], що за рахунок повітряного потоку виділення з зернового вороху зернових домішок, без втрат, або без засмічення ними повноцінного зерна - неможливо.

Аналіз крупних сторонніх домішок, а сюди входить частково недомолочений колос, частки соломи, показує, що мінімальне середнє значення критичної швидкості за математичним очікуванням по чотирьох господарствах склало: $\bar{V}_{кр(ср)} = 5,46\text{м/с}$ при мінімальному і максимальному значеннях критичної швидкості відповідно $V_{кр(min)} = 1,83\text{м/с}$, $V_{кр(max)} = 7,50\text{м/с}$ та середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 1,46\%$ і коефіцієнті варіації $v = 26,78\%$. Максимальне середнє значення критичної швидкості за математичним очікуванням по чотирьох господарствах склало: $\bar{V}_{кр(ср)} = 10,33\text{м/с}$ при мінімальному і максимальному значеннях критичної швидкості відповідно $V_{кр(min)} = 6,91\text{м/с}$, $V_{кр(max)} = 13,78\text{м/с}$ та середньоквадратичному відхиленні $\sigma =$

3,12% і коефіцієнті варіації $v = 20,56\%$.

Окремо по господарствах середнє значення критичної швидкості $\bar{V}_{кр(ср)}$ за математичним очікуванням, мінімальне $V_{кр(min)}$ і максимальне $V_{кр(max)}$ значення критичної швидкості, середньоквадратичне відхилення σ і коефіцієнт варіації v крупних сторонніх домішок відповідно складо:

У ТОВ «40 років Жовтня» - при мінімальній критичній швидкості:

$$\bar{V}_{кр(ср)} = 4,65\text{м/с}; V_{кр(min)} = 2,92\text{м/с}, V_{кр(max)} = 7,50\text{м/с}, \sigma = 1,70\%; v = 36,69\%;$$

- при максимальній критичній швидкості:

$$\bar{V}_{кр(ср)} = 8,93\text{м/с}; \bar{V}_{кр(min)} = 6,91\text{м/с}, \bar{V}_{кр(max)} = 12,06\text{м/с}, \sigma = 2,02\%; v = 22,62\%.$$

У ПП «Росія» - при мінімальній критичній швидкості:

$$\bar{V}_{кр(ср)} = 4,54\text{м/с}; \bar{V}_{кр(min)} = 1,83\text{м/с}, \bar{V}_{кр(max)} = 6,61\text{м/с}, \sigma = 1,71\%; v = 37,62\%;$$

- при максимальній критичній швидкості:

$$\bar{V}_{кр(ср)} = 11,73\text{м/с}; \bar{V}_{кр(min)} = 9,67\text{м/с}, \bar{V}_{кр(max)} = 13,78\text{м/с}, \sigma = 1,31\%; v = 11,2\%.$$

У ПП «ЛАНА» - при мінімальній критичній швидкості:

$$\bar{V}_{кр(ср)} = 6,12\text{м/с}; \bar{V}_{кр(min)} = 4,45\text{м/с}, \bar{V}_{кр(max)} = 7,09\text{м/с}, \sigma = 0,99\%; v = 16,20\%;$$

- при максимальній критичній швидкості:

$$\bar{V}_{кр(ср)} = 10,34\text{м/с}; \bar{V}_{кр(min)} = 7,45\text{м/с}, \bar{V}_{кр(max)} = 13,09\text{м/с}, \sigma = 2,29\%; v = 22,21\%.$$

У ТОВ «Райз-Максимко» - при мінімальній критичній швидкості:

$$\bar{V}_{кр(ср)} = 6,31\text{м/с}; \bar{V}_{кр(min)} = 5,63\text{м/с}, \bar{V}_{кр(max)} = 7,06\text{м/с}, \sigma = 0,40\%; v = 6,30\%;$$

- при максимальній критичній швидкості:

$$\bar{V}_{кр(ср)} = 10,41\text{м/с}; \bar{V}_{кр(min)} = 7,33\text{м/с}, \bar{V}_{кр(max)} = 12,47\text{м/с}, \sigma = 1,81\%; v = 17,37\%.$$

Дані отриманих значень дозволяють зробити висновок, що крупні сторонні домішки, входять у діапазон критичної швидкості зерна і зернових домішок, але мають значно більший коефіцієнт парусності (Таблиця 2), а у зв'язку із більшою площею опору, може перейти у псевдозріджений стан, мета створення якого є головною задачею подальших досліджень.

Стосовно результатів по визначенню критичної швидкості насіння бур'яних домішок.

Так, середнє мінімальне значення критичної швидкості за математичним

очікуванню по чотирьом господарствам склало $\bar{V}_{кр(ср)} = 1,72$ м/с при мінімальному і максимальному значеннях критичної швидкості відповідно $V_{кр(min)} = 1,22$ м/с, $V_{кр(max)} = 2,33$ м/с та середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 0,38\%$ і коефіцієнті варіації $v = 22,55\%$, а середнє максимальне значення критичної швидкості за математичним очікуванням склало $\bar{V}_{кр(ср)} = 3,89$ м/с при мінімальному і максимальному значеннях критичної швидкості відповідно $V_{кр(min)} = 3,18$ м/с, $V_{кр(max)} = 4,91$ м/с та середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 0,52\%$ і коефіцієнті варіації $v = 13,42\%$.

З таблиці 1 бачимо, що максимальне значення при максимумі критичної швидкості насіння бур'янів складає: у ТОВ «40 років Жовтня» та у ТОВ «Райз-Максимко» - $V_{кр(max)} = 4,91$ м/с; у ПП «Росія» - $V_{кр(max)} = 4,15$ м/с; та у ПП «ЛАНА» - $V_{кр(max)} = 4,6$ м/с при відносно високому значенні коефіцієнту варіації – відповідно $v = 11,45\%$ та $v = 16,39\%$, $v = 9,55\%$, $v = 13,32\%$. Аналіз значень критичної швидкості насіння бур'янів показує, що за своїми показниками вони вище мінімальних значень показників критичної швидкості пошкодженого зерна, а в господарствах ТОВ «40 років Жовтня» та ПП «ЛАНА» вище або співпадають з мінімальними показниками критичної швидкості щуплого зерна. Таким чином, виділити насіння бур'янів за рахунок повітряного потоку можливо частково.

Інтерес представляють дослідження з визначення критичної швидкості (таблиця 1) та коефіцієнту парусності (таблиця 2) легких домішок (полови, збоїни соломи).

Так, з таблиці 1 ми бачимо, що мінімальне значення критичної швидкості за математичним очікуванням у ТОВ «40 років Жовтня» на полові склало $\bar{V}_{кр} = 1,59$ м/с при $V_{кр(min)} = 1,25$ м/с, $V_{кр(max)} = 2,07$ м/с, середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 0,36\%$ і коефіцієнті варіації $v = 22,51\%$. Максимальне значення критичної швидкості за математичним очікуванням на полові склало $\bar{V}_{кр} = 2,75$ м/с при $V_{кр(min)} = 2,17$ м/с, $V_{кр(max)} = 3,51$ м/с, середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 0,45\%$ і коефіцієнті варіації $v = 16,38\%$.

Мінімальне значення критичної швидкості за математичним очікуванням

збоїни соломи склало $\bar{V}_{кр} = 1,19$ м/с при $V_{кр(min)} = 0,70$ м/с, $V_{кр(max)} = 2,03$ м/с, середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 0,52$ % і достатньо високому коефіцієнті варіації 43,95 %. Максимальне значення критичної швидкості за математичним очікуванням збоїни соломи склало $\bar{V}_{кр} = 1,84$ м/с при $V_{кр(min)} = 1,15$ м/с, $V_{кр(max)} = 2,35$ м/с, середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 0,49$ % і коефіцієнті варіації $v = 27,10$ %.

Коефіцієнт парусності (таблиця 2), його максимальне значення за математичним очікуванням, в цьому господарстві, на полові склав $\bar{K}_{П} = 4,367$ при $K_{П(min)} = 2,289$, $K_{П(max)} = 6,278$, середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 1,63$ % і коефіцієнті варіації 37,44%. Мінімальне значення коефіцієнту парусності за математичним очікуванням полови склало $\bar{K}_{П} = 1,385$ при $K_{П(min)} = 0,796$, $K_{П(max)} = 2,083$, середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 0,424$ % і коефіцієнті варіації $v = 30,65$ %.

Максимальне значення за математичним очікуванням коефіцієнту парусності збоїни соломи склало $\bar{K}_{П} = 10,625$ при $K_{П(min)} = 2,502$, $K_{П(max)} = 20,02$ середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 7,081$ % і коефіцієнті варіації $v = 66,65$ %. Мінімальне значення коефіцієнту парусності за математичним очікуванням збоїни соломи склало $\bar{K}_{П} = 3,641$ при $K_{П(min)} = 1,776$, $K_{П(max)} = 7,417$, середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 2,2$ % і коефіцієнті варіації $v = 60,89$ %.

Аналіз значень критичної швидкості полови та збоїни соломи за математичним очікуванням у приватних підприємствах «Росія», «ЛАНА» та товаристві обмеженої відповідальності «Райз-Максимко» мало відрізняються від вище описаного господарства. Відносно високий рівень коефіцієнту варіації обумовлено широким розбігом критичної швидкості від мінімального в межах 1,5 м/с до 3...4 м/с., за рахунок різниці в вологості складових легких домішок. На різницю в вологості складових легких домішок, за рахунок чого в значній мірі підвищується вологість зерна, звертають увагу багато дослідників [7, 12, 13, 14, 15]. Так за дослідженнями [16], коливання між окремими частками складає 15...20%, а інколи і 30...40%.

Високе значення коефіцієнту парусності легких домішок (таблиця 2), характеризує що, чим вище цей показник, тим з більш високою ймовірністю дозволяє передбачати виділення їх з зернового вороху і транспортування повітряним потоком.

Слід звернути увагу, що коефіцієнту парусності на легких домішках коливається у дуже широкому діапазоні від $K_{П(min)} = 0,444$ до $K_{П(max)} = 20,02$ при достатньо і навіть дуже високому коефіцієнті варіації v . Так загальне його значення на полові склало $v_{(min)} = 29,58\%$ і $v_{(max)} = 40,32\%$, а збоїни соломи - $v_{(min)} = 74,55\%$ і $v_{(max)} = 101,65\%$.

Наявність живого сміття в приватному підприємстві «ЛАНА» при аналізі зернового вороху чотирьох господарств, не є закономірністю. При сучасних засобах боротьби із шкідниками вони є лише виключенням з правил і може бути використано для аналізу лише в окремому господарстві.

2.5. Висновки

1. Аналіз методик та засобів визначення критичної швидкості складових зернового вороху дає підставу доцільності використання модернізованого ротаметричного порціонно-парусного класифікатора РПК-30, обладнаного подовженою трубкою з дифузором та удосконалення методики визначення критичної швидкості “тіла.,,
2. Представлено результати і зроблено аналіз аеродинамічних властивостей складових зернового вороху, що надходять на зерноочисні комплекси господарств Запорізької області.
3. $V_{кр}$ і $K_{п}$ зернових домішок частково входять у діапазон $V_{кр}$ і $K_{п}$ повноцінного зерна і це свідчить про те, що частина зернових домішок може бути відокремлена повітряним потоком і скласти фуражну фракцію.
4. Повітряний потік в машинах попереднього очищення зерна переважно можна використовувати не для сортування, а для виділення з зерна збоїни соломи, полови, пилу, для звільнення зерна від насіння бур'янів, неповноцінного і легкого зерна.

3. АНАЛІЗ СИЛ, ДІЮЧИХ НА РОБОЧИЙ ОРГАН ПЛУГА – БУКЕРА ДЛЯ ПОЛИЦЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

3.1. Актуальність досліджень

В процесі роботи реакція корпусу звичайного полицевого плуга складається з опору ґрунту на різання лемешем і опору на переміщення підрізаного шару полицею. Враховуючи, що леміш і полиця встановлені під кутом до напрямку руху, виникає поперечна складова реакції опору, яка компенсується польовою дошкою. Виникає питання, якщо поперечні складові реакції лемеша і полиці спрямувати у протилежні боки, то в ідеальному випадку можна відмовитись від польової дошки. Останнє суттєво зменшить тяговий опір, і як наслідок, навантаження на ферму.

В сільськогосподарській практиці відомий плуг, в якому правообертаюча полиця працює з лівопідрізаючим лемешем. Таке знаряддя отримало назву «букер». Агрегати, в основу яких покладено такі робочі органи не отримали широкого розповсюдження, бо їх використання з мобільними агрегатами не має сенсу. Проте цей принцип можна використати для взаємної компенсації реакцій лемеша і полиці у мостовому землеробстві.

3.2. Програма досліджень

У відповідності до прийнятих параметрів розрахувати значення поперечних складових тягового опору плуга-букера

3.3. Методика дослідження

Методика дослідження базується на основних положення хвищої математики та теоретичної механіки.

3.4. Результати досліджень

Суто теоретично така компенсація можлива, (рис.3.1). Якщо розглянути схему діючих сил, то видно, що бокова сила F_B у випадку традиційного плуга спрямована в бік стінки борозни (вид а), а у випадку букера – в протилежний бік (вид б).

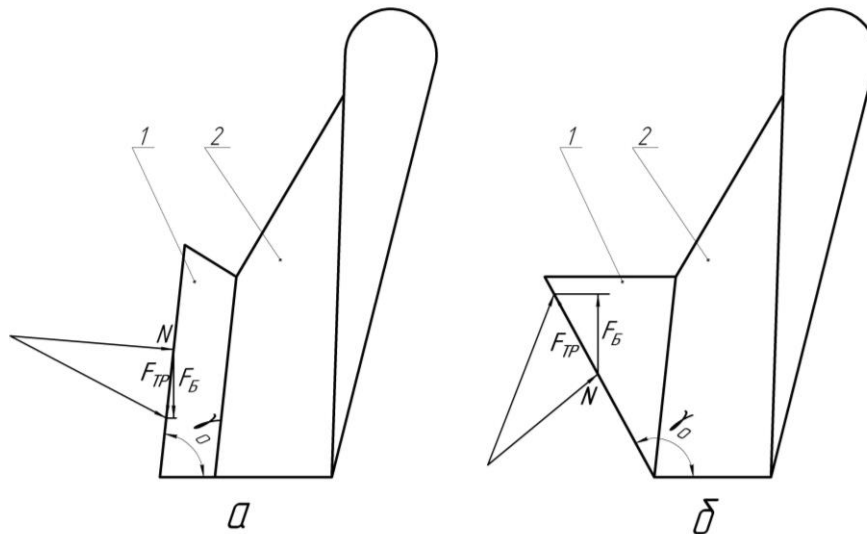


Рисунок 3.1 - Корпус (а – серійний плуг, б – букер): 1 – леміш; 2 – полиця

У відповідності до розрахунків за методикою А.М. Панченка [17, 18] сила різання ґрунту лемешем складає приблизно 70 % від загального опору плуга. Легко підрахувати, що в залежності від кута внутрішнього тертя ґрунту γ_0 нахилу леза лемеша до стінки борозни, F_B буде становити від 5 до 20% від загального опору корпусу, тобто, бокові (поперечні) складові опору лемеша і полиці можна у значній мірі компенсувати.

А.М. Панченко [17, 18, 19, 20] розробив загальну теорію визначення загального тягового опору плуга. Виділимо з загальної теорії складові на різання і на переміщення ґрунту вздовж полиці.

Аналітична розрахункова формула для визначення тягового опору різання ґрунту для леза ріжучого периметра має вигляд

$$P_{P1} = C_{уд} \cdot \left[b \cdot a + \frac{0,66 \cdot a^2 \cdot ctg \varphi_2}{\cos(\alpha_p + \varphi_2)} \right] \cdot tg(45^0 + \varphi_2) + 4,9 \cdot b \cdot a^2 \cdot tg^2(45^0 - \frac{\varphi_2}{2}) \cdot \gamma \times \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} & \times [\sin \varphi_2 + \cos(\alpha_p - \varphi_2) \cdot \cos \alpha_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_1] + a^2 \cdot \{0,5 \cdot C_{уд} \cdot [\operatorname{tg}(45^\circ + \varphi_2) + \operatorname{ctg}(\alpha_p)] \} \times \\ & \times \frac{0,66 \cdot \operatorname{ctg} \varphi_2}{\cos(45^\circ + \varphi_2)} + 4,9 \cdot \delta_p \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi_2}{2}) \cdot \sin \varphi_2 \cdot \gamma \} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 + K'(z+x \cdot \operatorname{tg} \varphi_1) \cdot b + 9,81 \cdot b \cdot a \cdot \gamma \times \\ & \times \frac{\sin \alpha_p \cdot \cos \theta}{\sin(\alpha_p + \theta)} \cdot V^2 \end{aligned}$$

де b – приведена ширина захвату;

a – глибина оранки;

α_p – кут різання;

φ_1 – кут тертя ґрунту по сталі;

φ_2 – кут внутрішнього тертя ґрунту;

γ – питома вага ґрунту;

K' – межа несучої спроможності;

z, x – параметри площадки затуплення леза;

θ – задній кут леза;

δ_p – товщина лемеша;

α_p – кут постановки лемеша до дна борозни.

Пристосуємо наведену формулу до наших умов (рис.3.2.). В проекції на поперечний напрямок $F_B = P_{P1}$.

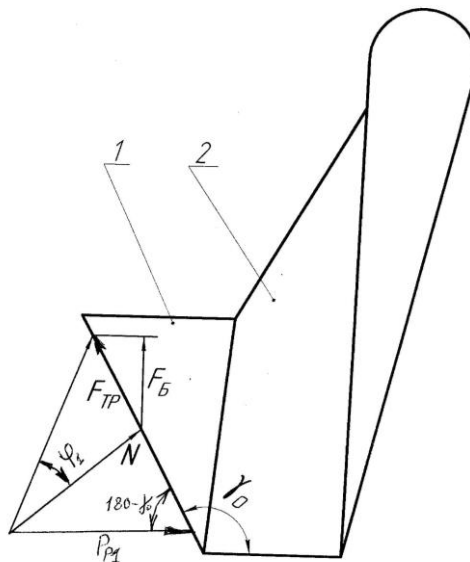


Рисунок 3.2 - Схема до визначення бокової складової різання лемешем

У відповідності до схеми

$$N = P_{P1} \cdot \sin(180 - \gamma_0) = P_{P1} \cdot \sin(\gamma_0) \quad (3.2)$$

$$F_{TP} = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = P_{P1} \cdot \sin(\gamma_0) \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \quad (3.3)$$

$$F_B = F_{TP} \cdot \sin(180 - \gamma_0) = P_{P1} \cdot \sin^2(\gamma_0) \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 \quad (3.4)$$

Тяговий опір ґрунту на рух вздовж полиці

$$W_{ВД} = 4,9 \cdot K_{СК} \cdot L \cdot H^2 \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - 0,5 \cdot \varphi_2) \cdot \gamma \cdot g \cdot \cos(\varphi - \varphi_2) \cdot \cos(\gamma_{П}) \cdot V^2, \quad (3.5)$$

де $\gamma_{П}$ – середнє значення кута утворюючої полиці до стінки борозни;

L – довжина полиці;

H – висота полиці;

φ – кут відвалювання;

$K_{СК} = (0,7 \dots 0,8)$, c^2/m^2 – динамічний коефіцієнт.

Задамося вихідними даними і виконаємо розрахунки за наведеними формулами. Прийняті конструктивні параметри відповідають конструктивним параметрам виконаної нами моделі плуга-букера, параметри ґрунту – параметрам модельного середовища у ґрунтовому каналі [21].

Таблиця 3.1 – Розрахункові значення поперечних складових тягового опору плуга

№	$C_{Пит}$, кН/м ²	V, м/с	γ_0 , град	Розрахункові значення, Н				
				P_{P1}	F_B	$W_{ВД}$	$W_{ВД} - F_B$	
1	0,5	1,67	120	144	43,6	54,0	10,4	
2			135	144	29,1		24,9	
3			150	144	14,5		39,5	
4		2,31	2,31	120	261	79,1	103,3	24,2
5				135	261	52,7		50,6
6				150	261	26,4		76,6
7		2,82	2,82	120	381	115,4	154,0	38,6
8				135	381	77,0		77
9				150	381	38,5		115,5
10	1,0	1,67	120	154	46,6	54,0	7,4	
11			135	154	31,1		22,9	
12			150	154	15,6		38,4	
13		2,31	2,31	120	271	82,1	103,3	21,2
14				135	271	54,7		48,6
15				150	271	27,4		78,9
16		2,82	2,82	120	392	118,8	154,0	35,2
17				135	392	79,2		74,8
18				150	392	39,6		114,4
19	1,67	1,67	120	164	49,7	54,0	4,3	
20			135	164	33,1		20,9	
21			150	164	16,6		37,4	

22	1,5	2,31	120	281	85,1	103,3	18,2
23			135	281	56,8		46,5
24			150	281	28,4		74,9
25	2,82	2,82	120	402	121,8	154,0	32,3
26			135	402	81,2		72,8
27			150	402	40,6		113,4

Параметри знаряддя:

Приведена ширина захвату – $b = 0,08$ м;

Глибина оранки – $a = 0,08$ м;

Довжина полиці – $L = 0,19$ м;

Висота полиці – $H = 0,1$ м;

Кут постановки лемеша до дна борозни - $\alpha_p = 30^0$;

Середнє значення кута утворюючої полиці до стінки борозни - $\gamma_{II} = 38^0$;

Задній кут леза - $\theta = 10^0$;

Товщина лемеша - $\delta_p = 0,003$ м;

Параметри площадки затуплення леза – $z = x = 0,0002$ м;

Кут відвалювання - $\varphi = 75^0$

Параметри модельного середовища:

Кут зовнішнього тертя - $\varphi_1 = 22^0$;

Кут внутрішнього тертя – $\varphi_2 = 30^0$;

Питома вага ґрунту – $\gamma = 1,4$ т/м³.

В якості змінних параметрів прийняті питоме зчеплення часток ґрунту $C_{пит}$, робоча швидкість V та кут постановки леза лемеша до стінки борозни γ_0 .

Результати розрахунків представлено в табл.3.1.

Аналіз даних таблиці та побудованих на її основі графіків показує, що бокова реакція може бути суттєво знижена. Особливо це відстежується зі збільшенням питомого зчеплення часток ґрунту (модельного середовища).

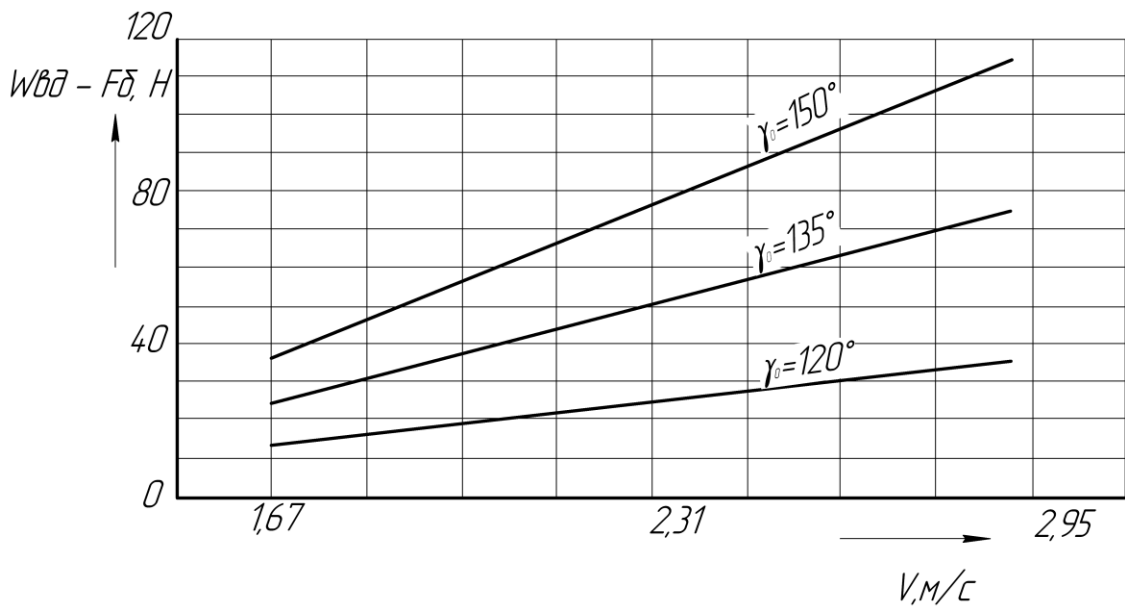


Рисунок 3.3 - Залежність бокової складової тягового опору від швидкості поступового руху та кута постановки леза лемеша до стінки борозни ($C_{\text{пит}} = 0,5$ кН/м)

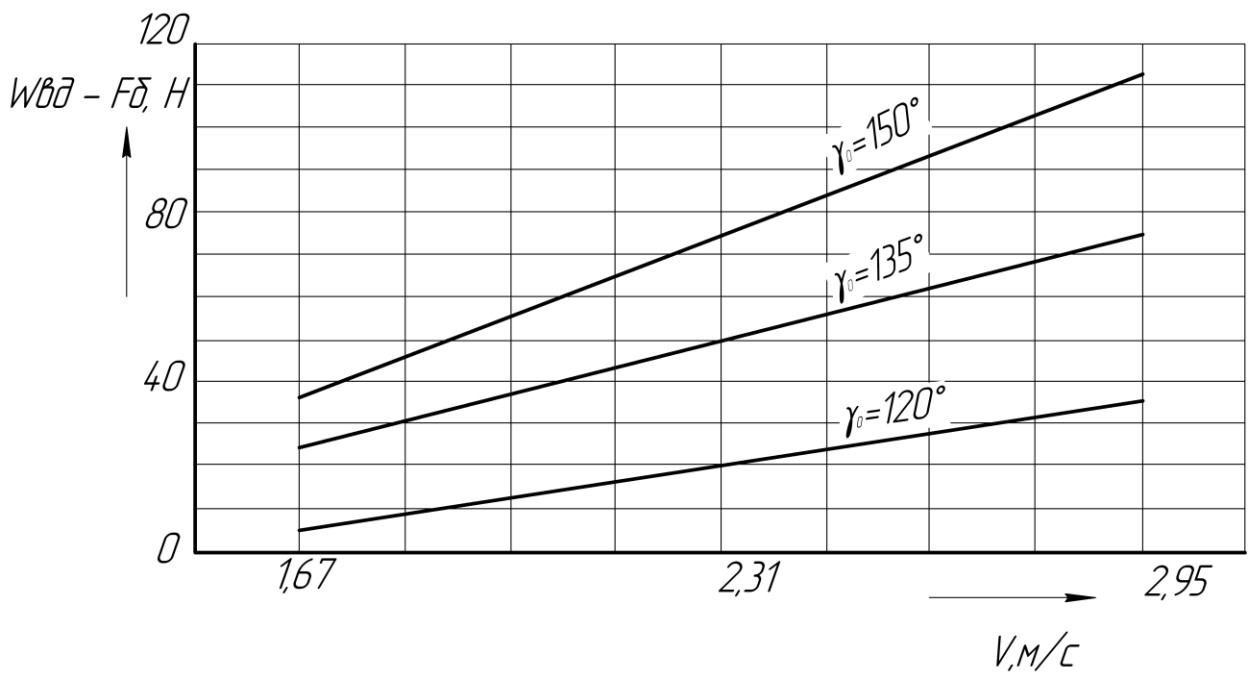


Рисунок 3.4 - Залежність бокової складової тягового опору від швидкості поступового руху та кута постановки леза лемеша до стінки борозни ($C_{\text{пит}} = 1,5$ кН/м)

3.5. Висновки

1. Аналіз результатів виконаних розрахунків показує, що бокова реакція може бути суттєво знижена. Особливо це відстежується зі збільшенням питомого

зчеплення часток ґрунту (модельного середовища).

2. Бокова складова тягового опору залежить одночасно від трьох параметрів: питомого зчеплення часток ґрунту, швидкості поступового руху та кута постановки леза лемеша до стінки борозни. Вплив цих складових практично не залежить один від одного, тому повністю погасити бокову складову не можливо. Але зменшення її абсолютної величини може значно покращити показники сталості ходу та зменшення тягового опору.

3. Запропонована методика дозволяє аналітично визначити загальну бокову реакцію плуга при різних конструктивних його параметрах. В якості недоліків слід відмітити, що в розрахунках нами було прийняте середнє значення кута нахилу утворюючої полиці до стінки борозни. Але у подальшому, ми відмовились від циліндроїдальної поверхні полиці на користь плоскої і це суттєво підвищило точність розрахунків.

4. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОРМИ І ПОЛОЖЕННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ ВИКОПУВАЛЬНОГО ПЛУГА

4.1. Актуальність досліджень

Технологічні процеси отримання продукції у вигляді саджанців потребують значних витрат енергії і праці, тому їх відносять до трудомістких виробництв. Значна кількість технологічних операцій не механізовано, виконується вручну. До трудомістких і енергоємних процесів належить викопування і вибірка саджанців плодкових культур. Викопувальні плуги дозволяють механізувати операцію викопування, а подальше вибирання саджанців виконується вручну і не забезпечує умови праці за показниками важкості трудового процесу [22]. Ускладнює цей процес умови різання, які потрібно забезпечити для різних за технологічними властивостями об'єктів - кореневої системи саджанця і ґрунту. Конструктивні схеми викопувальних плугів відображають різні технологічні підходи у здійсненні операцій викопування, але мають не достатнє обґрунтування параметрів окремих елементів робочих органів. А це потребує визначення параметрів форми та положення робочих органів, які забезпечують якість отриманої продукції і зменшують затрати енергії на процес викопування посадкового матеріалу.

4.2. Програма досліджень

Обґрунтувати параметри форми та положення робочого органу викопувального плуга які визначають його функціональність:

4.2.1. Розглянути робочий процес викопування плодкових саджанців викопувальними плугами.

4.2.2. Скласти перелік технологічних операцій, які мають місце під час викопування плодкових саджанців.

4.2.3. Розглянути форми робочих органів викопувальних плугів, ґрунтообробних знарядь, землерийних машин.

4.2.4. Скласти перелік параметрів форми та положення робочого органу викопувального плуга.

4.2.5. З'ясувати параметри форми та положення, які будуть впливати на

здійснення технологічних операцій викопування та вибірки саджанців

4.3. Методика дослідження

Методика досліджень базується на загальновідомих наукових методах пізнання: порівняння, абстрагування, аналізу та синтезу, функціонального аналізу.

4.4. Результати досліджень

У комплексі завдань теоретичних і експериментальних досліджень пов'язаних зі створенням і вдосконаленням викопувальних машин, їх робочих органів входять: дослідження взаємодії робочого органу з розроблюваним середовищем (характеристика умов та схем взаємодії); обґрунтування і вибір раціональної форми робочого органу (тип форми, вид профілю); визначення раціональних конструктивних параметрів форми і положення, швидкісних режимів робочих органів та інші.

Особливості взаємодії робочого органу з ґрунтом істотно залежать від різних умов процесу різання, які проявляються в кількості поверхонь зрізу і блокованих поверхонь. Число поверхонь зрізу визначається кількістю ріжучих елементів, які беруть участь у відділенні ґрунту. Процес різання може протікати за різними схемами взаємодії: за відсутності відкритих бічних стінок (невільне, блоковане різання); з однією відкритою стінкою - різання напіввільне; при наявності двох відкритих стінок – вільне різання. Викопування саджанців здійснюється за відсутності відкритих бічних стінок тобто блоковане різання. Форма робочого органу повинна відповідати вимогам раціональності з умов реалізації різних способів дії на ґрунт в якому розташована коренева система рослини. На вибір форми впливають розмірні характеристики як кореневої системи, так і наземної частини саджанця.

Процес викопування саджанців викопувальними плугами можна поділити умовно на окремі технологічні операції, які можуть бути наступними:

- різання певного розміру скиби ґрунту з кореневої системи саджанця;
- кришення ґрунту в середині скиби для руйнування зв'язків коренів з ґрунтом після відокремлення кореневої системи;
- розпушування ґрунту, транспортування та сепарація кореневої системи

саджанця;

- вибірка саджанців з ґрунту і розміщення саджанців на поверхні борозни.

Вибірка саджанців може не виконуватись у разі повної сепарація кореневої системи саджанця. Замість вибірки виконується збір саджанців з поверхні борозни.

Доцільно накласти деякі умови на реалізацію наведених операцій. Перша, виконує різання ґрунту по периметру кореневої системи саджанця і має відбуватися з мінімальними деформаціями стиску системи « ґрунт – коренева система саджанця» під час відокремлення.

Перша переходить в другу, де руйнування зв'язків в системі «ґрунтові агрегати - корінь» та ґрунті виконується для відокремленого від ґрунтового масиву об'єму ґрунту з саджанцем.

Третя операція пов'язана з достатнім розпушуванням системи «ґрунтові агрегати – корінь» для здійснення сепарації кореневої системи під час її переміщення (транспортування) до поверхні борозни.

Остаточну сепарацію кореневої системи саджанця проводять при розміщенні у поверхні і над поверхнею борозни на розпушувальних, сепарувальних та транспортуючих пристроях з подальшим падінням.

Вибірка саджанців може бути замінена на збір у разі повної і достатньої сепарації (виділення) коренів від ґрунту.

Технологічний процес викопування саджанців повинен виконуватись з мінімальними енерговитратами на всіх операціях його реалізації.

Форма і конструктивні параметри робочих органів викопувальних плугів при викопуванні саджанців повинні забезпечувати виконання вимог, які визначені в технічних показниках саджанців: довжини кореневої системи саджанця, допустимих механічних пошкоджень кореневої системи саджанця (подряпини, порізи), штамба (подряпини), крони (поверхневі подряпини).

З огляду на попередні технічні рішення, які наведені в наукових роботах [23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33] щодо форм робочих органів викопувальних та чизельних плугів, землерийних машин можна скласти перелік їх параметрів форми та положення, які визначають ефективність процесів, що ними виконуються. Зробимо це для робочих органів викопувального плугу,

враховуючі параметри функціонально подібних елементів робочих органів ґрунтообробних та землерийних машин. Поперечний профіль форми робочого органу виберемо у вигляді частини кола, який знайшов використання в викопувальних, чизельних плугах [23, 24, 25, 26, 32, 33] та землерийних машин [27, 28, 29, 30, 31].

Розглянемо склад параметрів на прикладі схеми, яка наведена на рис. 4.1.

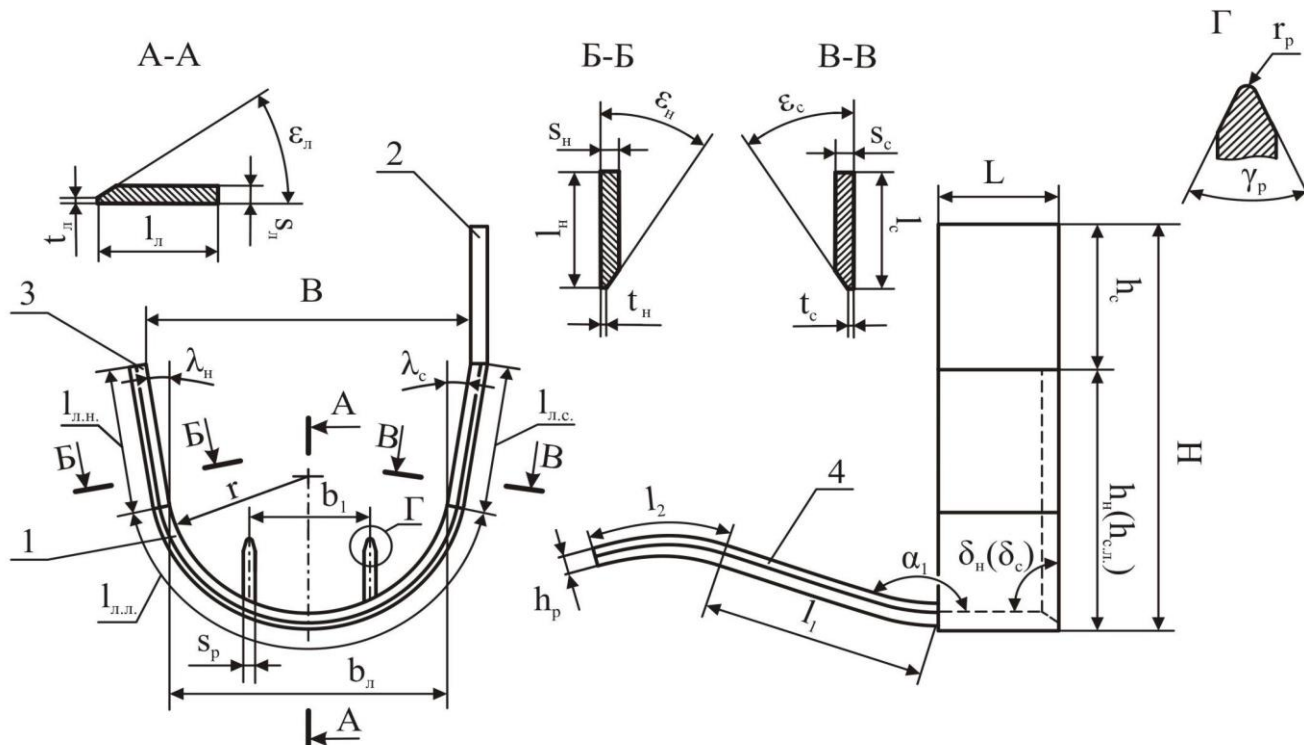


Рис. 4.1. Параметри форми робочого органу викопувального плуга.

Робочий орган складається з лемеша 1, стовба 2, ножа 3, розпушувача 4, які можна задати через параметри форми. Параметри робочого органу характеризуються довжиною L , висотою H , шириною B . Леміш має склад параметрів: b_l – ширина лемеша, l_l – довжина лемеша, $l_{л.л.}$ – довжина леза лемеша, s_l – товщина лемеша, t_l – товщина леза лемеша, ϵ_l – кут нижнього (верхнього, симетричного) загострення леза лемеша, r – параметр кривизни лемеша (радіус лемеша).

Для стовба можна задати такі параметри: $l_{л.с.}$ – довжина леза ріжучої частини стовба, l_c – довжина ріжучої частини стовба, $h_{с.л.}$ – висота стовба з лезом, h_c – висота стовба над поверхнею ґрунту, s_c – товщина ріжучої частини стовба, t_c – товщина леза ріжучої частини стовпа ϵ_c – кут зовнішнього (верхнього,

симетричного) загострення ріжучої частини стовби, λ_c – кут нахилу ріжучої частини стовпа до вертикалі в поперечній площині до напрямку руху, δ_c – кут між лезом ріжучої частини стовпа й поверхнею лемеша у вертикальній площині паралельній напрямку руху.

Ніж виконує функцію різання тому параметри наступні: l_n – довжина ножа, h_n – висота ножа, $l_{л.н.}$ – довжина леза ножа, s_n – товщина ножа, t_n – товщина леза ножа, ϵ_n – кут зовнішнього (внутрішнього, симетричного) загострення ножа, λ_n – кут нахилу ножа до вертикалі в поперечній площині до напрямку руху робочого органу, δ_n – кут між лезом ножа й поверхнею лемеша в площині паралельній напрямку руху робочого органу.

Розпушувач, дія якого забезпечує виділення кореневої системи з ґрунту для даної конструкції, визначається параметрами: α_1 – кут установки робочої поверхні розпушувача до площини лемеша в площині паралельній напрямку руху робочого органу, l_1, l_2 – довжина ділянок поздовжнього профілю розпушувачів, h_p – висота розпушувача, b_1 – відстань між розпушувачами, s_p – ширина розпушувача, r_p – радіус округлення розпушувача, γ_p – кут розпушування.

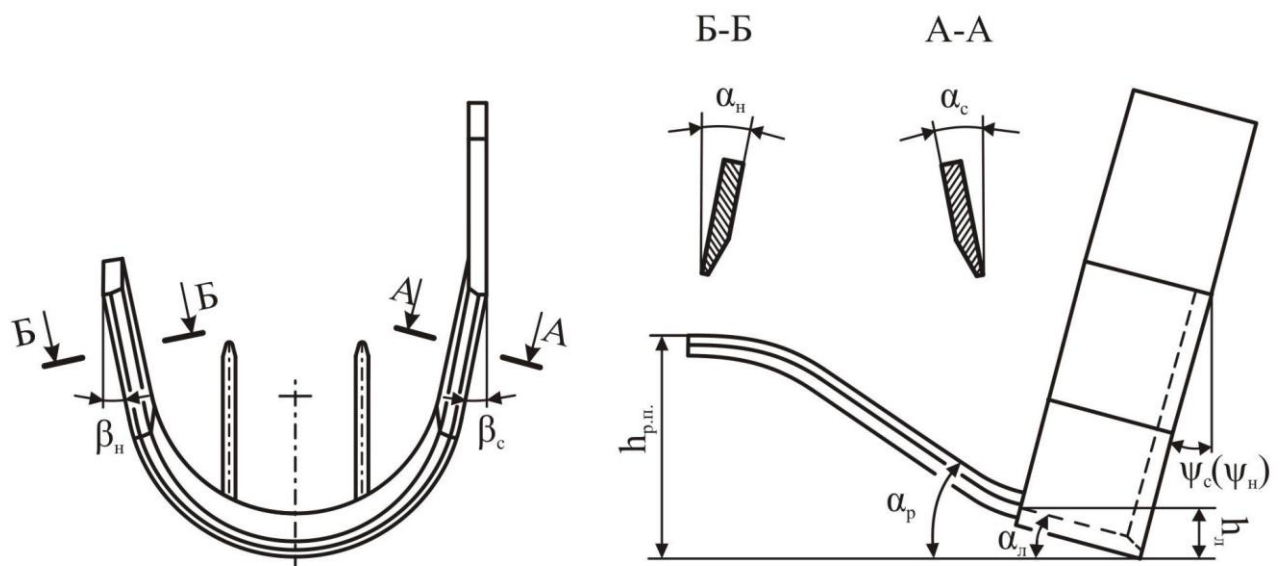


Рис. 4.2. Параметри положення робочого органу викопувального плуга.

Параметри положення повинні бути оптимальними з умов забезпечення функціональності структурних елементів робочого органу. На прикладі наведеного робочого органу параметри положення такі: α_n – кут різання лемеша,

α_c – кут різання стовба, α_n – кут різання ножа, β_c – кут установки стовпа до вертикалі в площині перпендикулярній напрямку руху робочого органу, β_n – кут установки ножа до вертикалі в площині перпендикулярній напрямку руху робочого органу, ψ_n – кут установки леза ножа до вертикалі в площині паралельній напрямку руху робочого органу, ψ_c – кут установки леза стійки до вертикалі в площині паралельній напрямку руху робочого органу, h_n – висота положення задньої крайки поверхні лемеша щодо дна прорізу, α_p – кут кришення розпушувача, $h_{p.п.}$ – висота положення задньої крайки розпушувача від дна прорізу.

З'ясуємо які параметри будуть впливати на здійснення операцій технологічного процесу викопування та вибірки саджанців (табл. 4.1.)

Таблиця 4.1 – Конструктивні параметри робочого органу, які впливають на викопування та вибірку саджанців

Технологічні операції	Параметри форми	Параметри положення
Різання певного розміру скиби ґрунту з кореневої системи саджанця (розміри кореневої системи відповідно до технічних показників)	$B, h_n, h_{c.л.}, b_l, r, \lambda_n, \lambda_c, l_{л.н.}, l_{л.с.}, l_{л.л.}, r, \lambda_c, \lambda_n, l_{л.л.}, t_l, t_n, t_c, l_l, l_c, l_n, s_l, s_c, s_n, \varepsilon_l, \varepsilon_c, \varepsilon_n, \delta_n, L$	$\alpha_l, \alpha_c, \alpha_n, \beta_c, \beta_n, \psi_n, \psi_c,$
Кришення ґрунту в середині скиби для руйнування зв'язків коренів з ґрунтом після відокремлення кореневої системи	$\lambda_c, \lambda_n, l_l, l_c, l_n,$	$h_l, \alpha_l, \lambda_c, \lambda_n$
Розпушування ґрунту, транспортування та сепарація кореневої системи саджанця	$\alpha_1, l_1, l_2, b_1, s_p, r_p, h_p, \gamma_p, s_p$	$\alpha_p, h_{p.п.}$
Вибірка саджанців з ґрунту і розміщення саджанців на поверхні борозни		$h_{p.п.}$

Параметри робочого органу, які визначають його конструктивні рішення потребують обґрунтування їх значень для забезпечення функціональності плуга.

4.5. Висновки

Розглянуто склад параметрів для запропонованої конструктивної схеми робочого органу викопувального плуга, які визначають його функціональність під

час здійснення викопування і вибірки саджанців.

За ходом виконання технологічної схеми процесу викопування визначені параметри форми та положення робочого органу, які забезпечують його виконання і дозволять в подальших дослідженнях визначити оптимальні межі їх значень.

5. МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ САДІННЯ ПІДЩЕП ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР САДИЛЬНИМ АПАРАТОМ ДИСКОВОГО ТИПУ

5.1. Актуальність досліджень

Плодорозсадництво в технологічних рішеннях отримання продукції у вигляді саджанців, потребує значних витрат праці і належить до трудомістких виробництв. Садіння підщеп відноситься до найбільш трудомістких операцій, а існуючі засоби механізації садіння не в повній мірі забезпечують дотримання нормативних вимог до якості висаджених підщеп. Так в [34] встановлено, що садильний апарат розробленої в [35, 36] машини для садіння підщеп МПП-4 не забезпечує якість садіння підщеп за показником їх відхилення від вертикальної осі. Даний показник якості висаджених підщеп є найбільш значущим при формуванні біоструктурного (лінійного) показника якості саджанців – викривлення штамба саджанця. Зокрема, для щеп першого року вирощування при досягненні висоти рослин від 70 см до 80 см, відхилення їх штамба від вертикальної осі не повинно перевищувати 5°. Забезпечення даного показника можливе за умови того, що підщепа буде висаджена з відхиленням від вертикальної осі від 0° до 10° при глибині садіння від 20 см до 25 см.

5.2. Програма досліджень

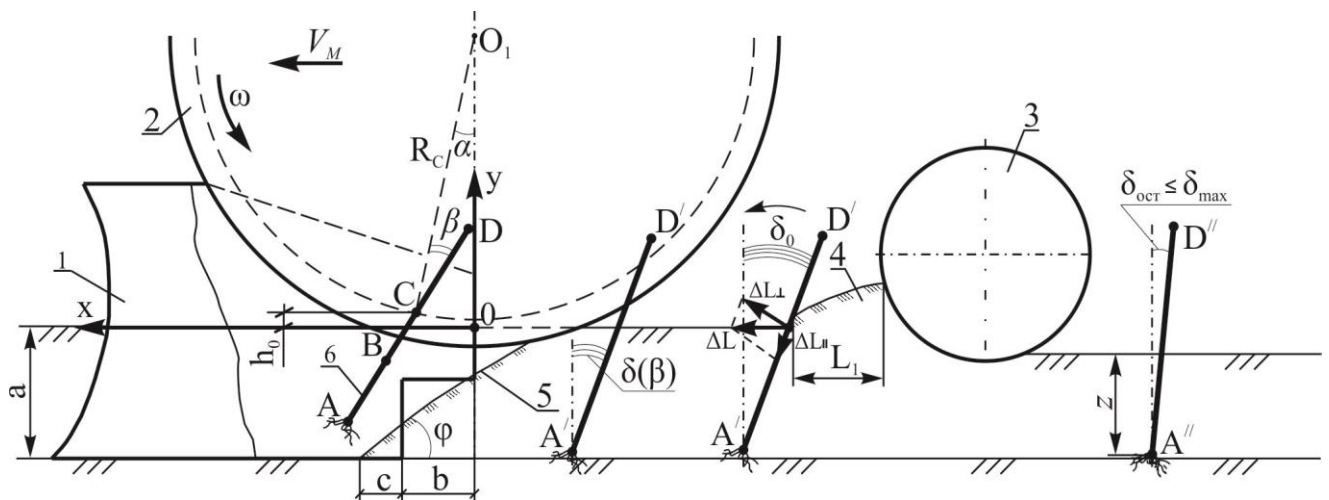
Розробити модель оптимізації параметрів садильного апарата шляхом формалізації рух підщепи, з урахуванням біоструктурного параметра підщеп (лінійної щільності) та впливу на підщепу ґрунту, утвореного робочими органами, призначеними для загортання та ущільнення.

5.3. Методика дослідження

При побудові моделі оптимізації передбачалося урахування характеристик, які виникають при вивільненні підщепи із захвата, при контакті підщепи з ґрунтом на дні борозни та при дії на підщепу валку ґрунту, що переміщується робочими органами, призначеними для загортання і ущільнення. Результатом моделювання повинні бути оптимізовані параметри елементів садильного апарата, які в сукупності забезпечить таку роботу машини, при якій відхилення висаджених підщеп від вертикалі не перевищуватиме 10° , при глибині садіння, яка відповідає нормативним вимогам (від 20 см до 25 см).

5.4. Результати досліджень

Модель розроблено відповідно до розрахункової схеми процесу садіння, яка представлена на рис.5.1.



1 – сошник; 2 – диск садильного апарата; 3 – прикочуючий каток; 4 – валок ґрунту, утворений прикочуючими котками; 5 – фронт хвилі ґрунту, який осипається за заднім обрізом сошника та загортачів; 6 – підщепка; φ – кут, під яким осипається ґрунт всередину сошника, град; a – глибина борозни, м; c –

відстань, на яку засипається ґрунт всередину сошника, м; b – відстань від вісі диска до заднього обрізу сошника, за яким осипається ґрунт до борозни, м; L_1 – довжина валка ґрунту, утвореного прикочуючими котками, м.

Рис.5.1. Розрахункова схема переміщень підщепи в процесі садіння садильним апаратом дискового типу.

Модель складається із змістової, аналітичної та обчислювальної частини.

Змістова частина. Після фіксації підщепи захватом садильного апарата процес садіння відбувається за такими етапами: *I етап* – транспортування підщепи в захваті садильного апарата до борозни; *II етап* – розкриття захвата та часткова фіксація підщепи ґрунтом, який осипається за заднім обрізом сошника та загортачів; *III етап* – поворот висадженої підщепи на певний кут валком ґрунту від прикочуючих котків до остаточної її фіксації в ґрунті (рис.5.1).

Завдання оптимізації можливо сформулювати наступним чином: необхідно визначити таке значення кута β відхилення підщепи в захваті відносно радіуса диска садильного апарата на *I етапі*, яке забезпечить в кінці *III етапу* максимальну ймовірність висадження підщепи з відхиленням від вертикальної осі, яке не перевищить 10° при глибині садіння від 20 см до 25 см.

Це задача багатокритеріальної оптимізації, цільову функцію якої можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} P_1 = P(|\delta(\beta) - \delta_0| \leq \delta_{\max}) \\ P_2 = P(z \geq z_{\min}) \\ Y = \min(P_1, P_2) \end{cases}, \quad (5.1)$$

а критерій оптимальності

$$Y \rightarrow \max \quad (5.2)$$

де P_1 – ймовірність того, що відхилення висадженої підщепи від вертикалі не перевищить 10° ; P_2 – ймовірність того, що підщепа буде висаджена на задану глибину; β – кут відхилення підщепи у захваті по відношенню до радіуса диска в момент розкриття захвата, град; δ – кут відхилення підщепи від вертикалі в ґрунті до взаємодії з прикочуючими котками, град; δ_0 – кут, на який повернеться підщепа при взаємодії з валком ґрунту, утвореного прикочуючими котками, град; δ_{\max} –

кут максимально допустимого відхилення висадженої підщепи від вертикалі, $\delta_{\max} = 10^\circ$ град; $\delta_{\text{ост}} = (\delta(\beta) - \delta_0)$ – остаточне значення кута відхилення висадженої підщепи від вертикалі, град; z_{\min}, z – мінімальне та фактичне значення глибини висадженої підщепи відповідно, м.

При побудові моделі оптимізації прийнято такі припущення:

- підщепа є прямим стрижнем, інерційні властивості якої визначаються за допомогою лінійної щільності;
- в момент зіткнення підщепи з дном борозни «удар» кореневої частини не пружний, відбувається протягом малого проміжку часу, основна складова зіткнення спрямована вздовж осі підщепи, що компенсує набуту підщепою швидкість поступального руху;
- глибина борозни у довільній точці підкоряється нормальному закону розподілу;
- величина повороту підщепи на кут δ_0 при прикочуванні котками істотно не залежить від початкового кута δ ;
- садіння відбувається при кінематичному режимі роботи садильного апарата $\lambda = \omega R / V_m = 1$.

Аналітична частина. Згідно з прийнятою системою координат (рис.5.1.), підщепа в процесі садіння має такі параметри інерції:

$$I_0 = \int_0^h \gamma(x) dx \quad I_1 = \int_0^h \gamma(x) x dx \quad I_2 = \int_0^h \gamma(x) x^2 dx \quad (5.3)$$

де I_0 – маса підщепи;

I_1 – статичний момент підщепи відносно кореневої системи;

I_2 – момент інерції підщепи відносно кореневої системи;

$\gamma = \gamma(l)$ – лінійна щільність підщепи, кг/м;

x – відстань від початку кореневої системи до певної точки на підщепі.

На II етапі, мають місце три випадки, які визначають послідовність переміщення підщепи із захвата та фіксацію її ґрунтом.

Випадок I: після відкриття захвата підщепи довільно переміщується донизу до зіткнення із дном борозни, після чого підпирається хвилею ґрунту, який осипається за заднім обрізом сошника та загортачів.

Випадок II: після відкриття захвата підщепи довільно переміщується донизу до зіткнення із хвилею ґрунту, який осипається за заднім обрізом сошника та загортачів, після чого загортається ним.

Випадок III: підщепи частково засипається ґрунтом ще до визволення із захвата та після його відкриття остаточно загортається ґрунтом.

Приведені випадки залежать від таких параметрів: довжини підщепи h , лінійної щільності підщеп по довжині $\gamma(x)$, відстані від початку кореневої системи до точки затискання у захваті l (відрізок AC , рис.5.1), відстані від денної поверхні поля до центру захватів h_0 та глибину борозни a .

У кожному випадку визначався розподіл кута δ та глибина садіння z .

У випадку I, розподіл кута δ буде визначатися функцією

$$f_{\delta 1}(\xi) = \frac{1}{2} \theta' \left(\xi - \left(\frac{\pi}{2} - \psi(t_1) \right) \right) + \frac{1}{2} \theta'(\xi - \delta_{12}^I), \quad (5.4)$$

а глибина садіння

$$z = a. \quad (5.5)$$

де $\theta'(\xi)$ – дельта-функція Дірака [38].

У випадку II, розподіл кута δ буде визначатися функцією

$$f_{\delta 2}(\xi) = \begin{cases} 0, & \xi \notin [\alpha + \beta - \omega t_0; \delta_{12}^{II}] \\ 2 \frac{\delta_{12}^{II} - \xi}{(\delta_{12}^{II} - \alpha - \beta + \omega t_0)^2}, & \xi \in [\alpha + \beta - \omega t_0; \delta_{12}^{II}] \end{cases} \quad (5.6)$$

а глибина садіння

$$z = -y_A(t_0). \quad (5.7)$$

У випадку III, розподіл кута δ буде визначатися функцією

$$f_{\delta 3}(\xi) = \theta'(\xi - (\alpha + \beta)), \quad (5.8)$$

а глибина садіння

$$z = -y_A(0). \quad (5.9)$$

де t_0 – час падіння підщепи, с;

t_1 – час, при якому підщепа зіткнеться з хвилею ґрунту;

$\delta_{12}^I, \delta_{12}^{II}$ – кут змінення кута δ (рис. 2);

$\psi(t_1)$ – кут між підщепою та горизонталлю у даний час, який визначається методом Ейлера при початкових умовах:

$$\psi(t_0) = \frac{\pi}{2} - \alpha - \beta + \omega t_0, \dot{\psi}(t_0) = \omega_0; \omega_0 - \text{кутова швидкість підщепи відразу після зіткнення з ґрунтом, с}^{-1}.$$

Таким чином, по сукупностях даних, $h_0, l, a, \gamma_j(x), h_j$, наведений алгоритм дозволяє отримувати розподіл кута δ з (5.4), (5.6), (5.8) та з (5.5), (5.7), (5.9) глибини садіння z .

Аналіз залежностей показує, що у виразі (5.8) відсутній розподіл кута δ , що вказує на те, що *випадок III* при умові $\alpha = 0^\circ$ є найбільш сприятливим з точки зору фіксування та урівноваження підщепи у борозні, так як фактично зберігається значення кута β . Забезпечення умови $\alpha = 0^\circ$ реалізується переміщенням копіра садильного апарата у відповідне положення.

На *III етапі* процесу садіння висаджена підщепа контактує з прикочуючими катками. Каток утворює валок ґрунту, який повертає підщепу в сторону руху машини на кут δ_0 (рис.5.1). Нехай верхній шар ґрунту від валка, довжиною L_1 зсунувся на величину ΔL . Зміна кута δ_0 визначиться з виразу:

$$d\delta_0 = \frac{dL_{\perp}}{a} \cos \delta_0 \rightarrow dL_{\perp} = dL \cos \delta_0.$$

Розділивши змінні та виконавши ряд перетворень отримаємо

$$\delta_0 = \arctg\left(\frac{L_1}{a}\right). \quad (5.10)$$

Сумарна імовірність того, що j -ту підщепу буде висаджено з дотриманням умови (5.10):

$$\Theta_j = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \sum_{i,k,l,s} \Delta P_j.$$

Вираз для Θ_j є інтегральною сумою на розбитті множини, яка є декартовим добутком носіїв розподілів $f_V, V \in \{l, a, h_0, \delta\}$.

Ймовірність висадження підщепи з дотриманням умови $\delta_{\text{ост}} \leq \delta_{\text{max}}$:

$$P(|\delta - \delta_0| \leq \delta_{\text{max}}) = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \Theta_j, \quad (5.11)$$

Математичне очікування кута $\delta_{\text{ост}}$ остаточної фіксації висаджених підщеп від вертикалі визначиться з виразу:

$$M(\delta_{\text{ост}}) = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \Theta_j, \quad (5.12)$$

Таким чином, необхідно визначити таке значення кута β , при якому критерій (5.2) досягне максимуму. Імовірності, що входять до складу цільової функції (5.1), обчислюються за формулами (5.11, 5.12).

Обчислювальна частина моделі. Для практичної реалізації наведеної моделі в [42] розроблено алгоритм визначення розподілу лінійної щільності підщеп, який базується на експериментальних даних, отриманих при проведенні лабораторних досліджень.

На глибину садіння підщеп суттєвий вплив має положення підщеп у захватах садильного апарата (відрізок AC – відстань від центра захвата до крайньої точки основи підщепи (рис. 5.1). В результаті обробки даних по вкладанню підщеп у захвати було визначено, що як довільне вкладання так і з орієнтиром у вигляді обмежувача для садіння на глибину 25 см (рис. 5.1, поз.6) підкоряється нормальному закону розподілу. Однак, встановлено, що при вкладанні підщеп з орієнтиром коефіцієнт варіації менший порівняно з довільним вкладанням майже в три рази ($v = 5,4\%$ та $v = 16\%$ відповідно). Тому, для збільшення ймовірності того, що підщепа буде висаджена на задану глибину, необхідно встановлювати орієнтири для садильників.

Також встановлено, що при $\alpha = 0^\circ$, у момент розкриття захватів значення величин h_0 та a мають нормальний закон розподілу і можуть знаходитись відповідно у інтервалах $[-0,05;0]$ та $[0,25;0,31]$ від денної поверхні поля.

Через те, що для цільової функції (1) відсутня будь-яка аналітична залежність, для проведення процедури оптимізації було використано метод «золотого перерізу» за наступним алгоритмом:

1) задаються інтервали оптимізації $[\beta_{\min}; \beta_{\max}]$;

2) обчислюється пропорція золотого перерізу:

$$G = \frac{\sqrt{5}-1}{2};$$

3) визначаються координати двох внутрішніх точок відрізка $[\beta_{\min}; \beta_{\max}]$ за формулами:

$$a_1 = \beta_{\min} + (1 - G)(\beta_{\max} - \beta_{\min});$$

$$b_1 = \beta_{\min} + G(\beta_{\max} - \beta_{\min});$$

та обчислюються значення $Y_1=Y(a_1)$, $Y_2=Y(b_1)$;

4) якщо різниця $b_n - a_n$ менша за припустиму похибку (для практичного вирішення взято 1°), слід вважати середнє арифметичне $(a_n + b_n)/2$ розв'язанням задачі;

5) якщо $Y(a_n) < Y(b_n)$, покладемо $\beta_{\min} = a_n$, $a_{n+1} = b_n$, $Y(a_{n+1})=Y(b_n)$ та обчислюємо $b_{n+1} = \beta_{\min} + G(\beta_{\max} - \beta_{\min})$, $Y(b_{n+1})$. Переходимо до п.4;

6) якщо $Y(a_n) > Y(b_n)$, покладемо $\beta_{\max}=b_n$, $b_{n+1}=a_n$, $Y(b_{n+1})=Y(a_n)$ та обчислюємо $a_{n+1} = \beta_{\min} + (1 - G)(\beta_{\max} - \beta_{\min})$, $Y(a_{n+1})$. Переходимо до п.4.

За допомогою розробленого програмного забезпечення проведено процедуру оптимізації при таких вхідних параметрах: $\alpha = 0^\circ$; $V_m = 0,14$ м/с; $c = 0,01$ м; $b = 0,1$ м; $\varphi = 40^\circ$; $R_C = 0,46$ м; $\omega = 0,304$ с⁻¹; $\beta_{\min} = 0^\circ$; $\beta_{\max} = 30^\circ$; $\delta_0 = 30^\circ$; $\delta_{\max} = 10^\circ$; $z_{\min} = 0,2$ м; $M(a) = 0,28$ м; $\sigma(a) = 0,01$ м; $M(h_0) = -0,025$ м; $\sigma(h_0) = 0,0083$ м; $M(l) = 0,224$ м; $\sigma(l) = 0,012$ м; $l_2 = 0,065$ м; $b_2 = 0,03$ м; де l_2 , b_2 – довжина та ширина захвата відповідно, м.

На основі протоколу оптимізації побудовано графіки, які представлені на рис.5.2.

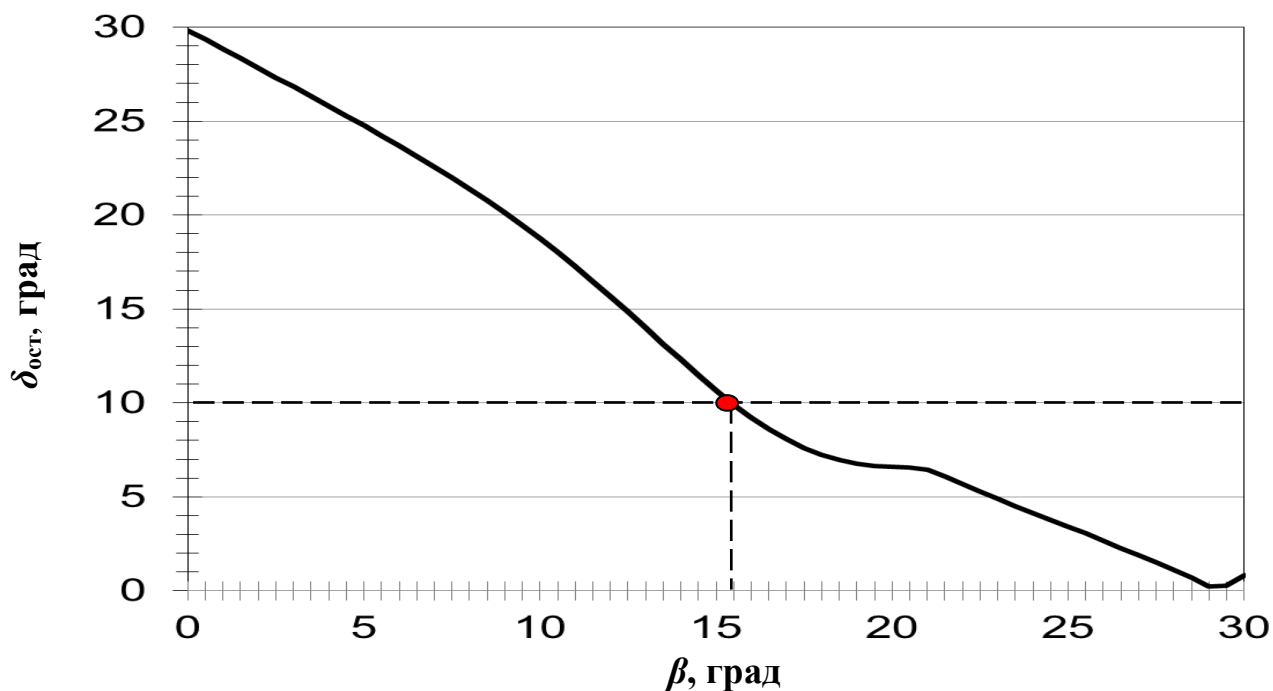


Рис.5.2. Залежність остаточного значення кута відхилення висадженої підщепи від вертикалі $\delta_{ост}$ від кута відхилення підщепи в захваті β .

Для того, щоб відхилення висадженої підщепи від вертикалі не перевищувало 10° , підщепа в захваті повинна знаходитися під кутом β у межах від 15° до 30° . Вертикальне садіння можливе при $\beta = 28^\circ$, тобто практично при компенсуванні прийнятого кута $\delta_0 = 30^\circ$ значенню кута β .

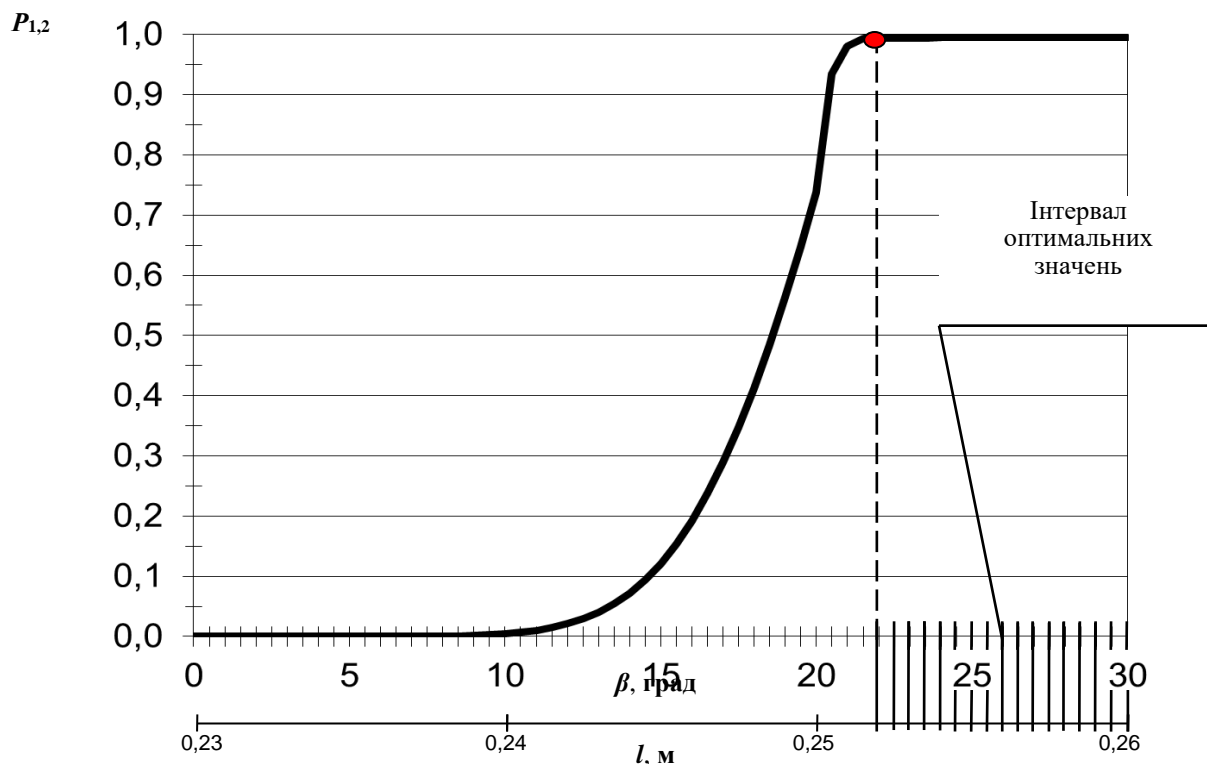


Рис.5.3. Імовірність садіння підщеп з дотриманням заданої вертикальності та глибини садіння $P_{1,2}$ від кута відхилення підщеп у захваті β та відстані від центра захватів до початку кореневої частини підщеп l . Сумісні імовірності садіння підщеп з дотриманням заданої вертикальності та глибини садіння від положення підщепи в захваті, то можна стверджувати, що з імовірністю 0,99 відхилення висадженої підщепи від вертикалі до 10° забезпечиться при куті β в межах від 22° до 30° і підщепа буде висаджена на глибину більш ніж 20 см, за умови, що відстань l від центра захвата до початку кореневої частини підщепи буде не меншою ніж 0,25 м.

5.5. Висновки

5.5. 1. Значення параметра, який визначає відхилення підщепи у захваті відносно радіуса диска садильного апарата в протилежну сторону руху машини (кут β) і впливає на відхилення висадженої підщепи від вертикалі (кут $\delta_{\text{ост}}$, $\delta_{\text{ост}} \leq 10^\circ$), повинно бути в межах від 22° до 30° , що може бути забезпечено орієнтуючим пристроєм;

5.5. 2. Значення параметра, який визначає відстань від центра захвата садильного апарата до основи підщепи (початку кореневої системи) і впливає на глибину садіння, не повинно перевищувати 0,25 м, що може бути забезпечено за допомогою орієнтирів для садильників, у вигляді обмежувачів вкладання підщеп у захвати;

5.5. 3. Значення параметра, який визначає момент розкриття захватів (кут α) і впливає на урівноваження підщепи у борозні, повинно дорівнювати нулю, що забезпечується переміщенням копіра садильного апарата у відповідне положення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі використання методів ідентифікації і регресійного аналізу побудовані математичні моделі для : повнокомплектної насіннеочисної лінії; зерноочисного агрегату ЗАВ-40 (одна лінія з додатково встановленою машиною ЗВС-20); машини первинного очищення ЗВС-20; ворохоочисника скальператорного типу; лінії для обробки вороху на стаціонарі.
2. Аналіз методик та засобів визначення критичної швидкості складових зернового вороху дає підставу доцільності використання модернізованого ротаметричного порціонно-парусного класифікатора РПК-30, обладнаного подовженою трубкою з дифузором та удосконалення методики визначення критичної швидкості “тіла,,
3. Представлено результати і зроблено аналіз аеродинамічних властивостей складових зернового вороху, що надходять на зерноочисні комплекси господарств Запорізької області.
4. $V_{кр}$ і $K_{п}$ зернових домішок частково входять у діапазон $V_{кр}$ і $K_{п}$ повноцінного зерна і це свідчить про те, що частина зернових домішок може бути відокремлена повітряним потоком і скласти фуражну фракцію.
5. Повітряний потік в машинах попереднього очищення зерна переважно можна використовувати не для сортування, а для виділення з зерна збоїни соломи, полови, пилу, для звільнення зерна від насіння бур'янів, неповноцінного і легкого зерна.
6. Аналіз сил, діючих на робочий орган плуга – букера показує, що бокова реакція може бути суттєво знижена. Особливо це відстежується зі збільшенням питомого зчеплення часток ґрунту (модельного середовища).
7. Бокова складова тягового опору плуга – букера залежить одночасно від трьох параметрів: питомого зчеплення часток ґрунту, швидкості поступового руху та кута постановки леза лемеша до стінки борозни. Вплив цих складових практично не залежить один від одного, тому повністю погасити бокову складову не можливо. Але зменшення її абсолютної величини може значно покращити

показники сталості ходу та зменшення тягового опору.

8. Запропонована методика дозволяє аналітично визначити загальну бокову реакцію плуга - букера при різних конструктивних його параметрах. В якості недоліків слід відмітити, що в розрахунках нами було прийняте середнє значення кута нахилу утворюючої полиці до стінки борозни. Але у подальшому, ми відмовились від циліндроїдальної поверхні полиці на користь плоскої і це суттєво підвищило точність розрахунків.

9. Розглянуто склад параметрів для запропонованої конструктивної схеми робочого органу викопувального плуга, які визначають його функціональність під час здійснення викопування і вибірки саджанців.

За ходом виконання технологічної схеми процесу викопування з'ясовані параметри форми та положення робочого органу, які забезпечують його виконання і дозволять в подальших дослідженнях визначити оптимальні межі їх значень.

10. Значення параметра, який визначає відхилення підщепи у захваті відносно радіуса диска садильного апарата в протилежну сторону руху машини (кут β) і впливає на відхилення висадженої підщепи від вертикалі (кут $\delta_{\text{ост}}$, $\delta_{\text{ост}} \leq 10^\circ$), повинно бути в межах від 22° до 30° , що може бути забезпечено орієнтуючим пристроєм;

11. Значення параметра, який визначає відстань від центра захвата садильного апарата до основи підщепи (початку кореневої системи) і впливає на глибину садіння, не повинно перевищувати 0,25 м, що може бути забезпечено за допомогою орієнтирів для садильників, у вигляді обмежувачів вкладання підщеп у захвати;

12. Значення параметра, який визначає момент розкриття захватів (кут α) і впливає на урівноваження підщепи у борозні, повинно дорівнювати нулю, що забезпечується переміщенням копіра садильного апарата у відповідне положення.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лурье А.Б. Основы теории эффективности функционирования рабочих процессов сельскохозяйственных машин и их систем управления / А.Б. Лурье // Науч. труды ЛСХИ. - Л., 1981.- Т. 415.- С. 3 - 6.
2. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А.Б. Лурье. - Л., Колос, 1970.-170 с.
3. Леженкин А.Н. Повышение эффективности работы ворохоочистителя за счет интенсификации его технологического процесса: дис.... канд. техн. наук / А.Н. Леженкин. - Л.,1989. - 166с.
4. Михайлов Є.В. Аспекти методики визначення параметрів повітряного потоку в пневмосистемі машини попереднього очищення зерна / Є.В. Михайлов, О.О. Білокопитов, М.П. Кольцов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. — Мелітополь, 2010. - Вип. 11, т. 1.- С. 242-250.
5. Пат. № 61469 У Україна, МПК В07В1/28. Решітний сепаратор / Є.В. Михайлов, О.О. Білокопитов, В.С. Дудка, А.В. Перетяцько; Заявник та патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет.-№ ; заявл. 23.11.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл.№ 14. - 4 с.
6. Механизация послеуборочной обработки зерна / П.И.Макаров, [и др.] - Йошкар-Ола: МарГУ, 2007. – 284 с.
7. Казаков Е.Д. Методы оценки качества зерна / Е.Д. Казаков, - М.: Агропромиздат, 1987. -215 с.
8. ДСТУ 2240-93 Насіння сільськогосподарських культур, сортові та посівні якості. Технічні умови.
9. Ротаметрический порционно-парусный классификатор РПК-30. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.- М.: ЦОПКБ ВИМ, 1971.- 25 с.
10. Михайлов Є.В. Методика визначення критичної швидкості складових зернового вороху / Є.В. Михайлов, О.О. Білокопитов // Науковий вісник ТДАТУ - Мелітополь, 2012. – Вип. 2, т. 3.- С. 50-56.

11. Михайлов Є.В. Методика визначення критичної швидкості складових зернового вороху / Є.В. Михайлов, О.О. Білокопитов // Науковий вісник ТДАТУ - Мелітополь, 2012. – Вип. 2, т. 3.- С. 50-56.
12. Михайлов Є.В. Післязбиральна обробка зерна у господарствах півдня України: монографія / Є.В. Михайлов. - Мелітополь: Люкс, 2012. 260 с.
13. Вобликов Е.М. Послеуборочная обработка и хранение зерна / Е.М. Вобликов, В.А. Буханцов, А.С. Прокопец. - Ростов-на-Дону: МарТ, 2003. – 231 с.
14. Михайлов Є.В. Післязбиральна обробка зерна у господарствах півдня України: монографія / Є.В. Михайлов. - Мелітополь: Люкс, 2012. 260 с.
15. Тарасенко А.П. Совершенствование технологии послеуборочной обработки зерна / А.П. Тарасенко М.Э. Марчалова, И.В. Баскаков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – Воронеж, 2009.- Вип.3 (22). - С. 22-24.
16. Чеботарев В.П. Направление совершенствования послеуборочной обработки зерна в республике Беларусь / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, А.А. Князев // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы науч.-практич. конф.; РУП НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства.- Минск, 2010. – Т.1.- С. 181-183.
17. Панченко А.Н. Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообрабатывающих и землеройных машин и оценка их эффективности для энергосберегающих технологий: Учебное пособие / А.Н. Панченко Днепропетр. гос. агр. ун-т. – Днепропетровск, 1995. – 96с.
18. Панченко А.Н. Теория и расчет сельскохозяйственных машин: Лабораторный практикум/ А.Н. Панченко Днепропетр.гос.агр.ун-т. – Днепропетровск, 2002. – 396с.
19. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями / А.Н. Панченко Днепропетр. гос. агр. ун-т.- Днепропетровск, 1999. – 140с.
20. Панченко А.Н. Аналитические исследования крошения почвы с привлечением цифровой имитационной модели// А.Н. Панченко, Б.А. Волик Механізація сільськогосподарського виробництва/ Збірник наукових праць Національного аграрного університету. Том IV. Київ, 1998. – С.328-330.

21. Баловнев В.И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожностроительных машин./В.И. Баловнев – М.: Машиностроение, 1974. – 232с.
22. МОЗ України Наказ № 528 від 27.12.2001 «Про затвердження Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» «Класи умов праці за показниками важкості трудового процесу»
23. Илюхин В. В. Изыскания и исследования рабочих органов для выкопки саженцев плодовых культур и ягодных кустарников.: дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / В. В. Илюхин — М : [б. в.], 1980. — 180 с.,
24. Клиновой С .И. Обоснование технологического процесса выкопки саженцев и параметров вибрационного копателя : автореф. дис. канд. техн. наук./ С .И.Клиновой — М.: [б. в.],1993. — 25 с.
25. Грушанский О. А. Исследование технологии и обоснование параметров рабочего органа машины для пересадки крупномерных деревьев с комом земли : автореф. дис. на получение наук. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / О. А. Грушанский; Украинский госуд. агр. ун-т. — Киев : [б. в.], 1994. — 29 с.
26. Фришев С. Г. Обоснование и разработка технологического комплекса машин для возделывания посадочного материала плодовых культур: дис. док. техн. наук : 05.20.01 / С. Г. Фришев — К : [б. в.], 1998. — 296 с.
27. Домбровский Н. Г. Экскаваторы / Н. Г. Домбровский. — М.: Машиностроение, 1969. — 320 с.
28. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А. Н. Зеленин. — М.: Машиностроение, 1968. — 376 с.
29. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами / Ю. А. Ветров. — М.: Машиностроение, 1971. — 360 с.
30. Баловнев В. И. Физическое моделирование резание грунтов / В. И. Баловнев. — М.: Машиностроение, 1969. — 160 с.
31. Федоров Д .И. Рабочие органы землеройных машин / Д. И. Федоров. — М.: Машиностроение, 1977 — 288 с.

32. Корабельский В. Техническое обоснование и использование в экологической почвообработке поверхностей знакопеременного воздействия / В. Корабельский, В. Кравчук, В. Павлоцкая // Техника АПК. — 2001. — № 7 – 8. — С. 24–26
33. Ветохин В. И. Обоснование формы и параметров рыхлительных рабочих органов с целью снижения энергозатрат на обработку почвы : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец.05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства»/ В. И. Ветохин ; Науч. произв. объединение по сельхоз. машиностроению НПО ВИСХОМ — М: [б.в.], 1993. — 24 с.
34. Чижиков І.О. Удосконалення засобів механізації для садіння підщеп плодових культур / І.О Чижиков // Праці ТДАТУ. - Мелітополь, 2009. - Вип.9, т.3. - С. 59-64.
35. Сафонов А.Ф. Технологические параметры плодопитомнической сажалки МПП-4 / А.Ф. Сафонов // Техника в сельском хозяйстве.- 1992.- №4. -С. 20-21.
36. Сафонов О.Ф. Механізація вирощування плодових саджанців / О.Ф.Сафонов // Техніка в АПК. – 1997. - №2. - С. 26-27.
37. Караєв О.Г. Математична модель процесу садіння підщеп плодових культур апаратом дискового типу [Електронний ресурс] / О.Г. Караєв, І.О. Чижиков // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – Вип. 1, т.2. – С. 56-63.- Режим доступу:www.nbu.gov.ua/e-journals/nvtdau/2011_2/index.html.
38. Гельфанд И.М. Обобщенные функции и действия над ними / И.М. Гельфанд, Г.Е.Шилов. - М.: Физматгиз, 1959 – 471 с.
39. Шабанов М.Л. Обоснование параметров сошника и рациональной компоновки рабочих органов лесопосадочной машины: дис... канд. техн. наук: 05.21.01 / М.Л. Шабанов; Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2002. - 152с.
40. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман.- Изд. 4-е, доп. - М., Высш. школа, 1972. 368 с.
41. Кудрявцев Л. Д. Краткий курс математического анализа / Л.Д. Кудрявцев. - Т. 1. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 400 с.

42. Караєв О.Г. Визначення розподілу лінійної щільності мас підщеп плодкових культур по довжині / О.Г. Караєв, І.О Чижиков, В.В. Кузьмінов // Праці ТДАТУ. - Мелітополь, 2011. - Вип.11 , т.5.- С.149-154.